



**Centro Interdisciplinario de Posgrados, Investigación y
Consultoría**

**Metodología para sustentar una decisión multicriterio para la asignación de viajes y
adquisición de unidades en una empresa de transporte**

**Tesis que para Obtener el Grado Académico de Doctor en Logística y Dirección de la
Cadena de Suministro**

Presenta

Mario Flores Domínguez



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Popular Autónoma del Estado de
Puebla

Centro Interdisciplinario de Posgrados,
Investigación y Consultoría

Departamento de Ingeniería y
Tecnologías de Información

Doctorado en Logística y Dirección de la
Cadena de Suministro

**Metodología para sustentar una decisión multicriterio para
la asignación de viajes y adquisición de unidades en una
empresa de transporte**

Tesis que para obtener el Grado de Doctor en
Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

Presenta

Mario Flores Domínguez

Puebla, México.

Junio 2013



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Centro Interdisciplinario de Posgrados,
Investigación y Consultoría

Departamento de Ingeniería y
Tecnologías de Información

Doctorado en Logística y Dirección de la
Cadena de Suministro

Se aprueba la Tesis:

**Metodología para sustentar una decisión multicriterio para la
asignación de viajes y adquisición de unidades en una empresa de
transporte**

Comité Doctoral

Dr. Alberto A. Aguilar Lassere.
Director de Tesis

Dr. Guillermo Cortes Robles
Co-director

Dr. José Luis Martínez Flores.
Co-director

Puebla, México.

Junio de 2013

Señor, agradezco las dificultades que he enfrentado pues, ante estas, siempre me iluminaste a través de diversas personas quienes me han acompañado; personas como son mis padres, Ricardo⁺ y Magdalena, hermanos, profesores, amistades y compañeros.

Laboralmente, ingresé al IDEA de Oriente, institución universitaria dirigida por el Mtro. Leandro Flores Rosenzweig a quién agradezco el impulso a cursar la maestría y continuar hasta el grado de doctor.

En esta última etapa, agradezco la enseñanza y guía del director de la tesis, Dr. Alberto A. Aguilar Lasserre, así como el apoyo de los co-directores, los doctores Guillermo Cortes Robles y José Luis Martínez Flores, quienes han sido parte de una gran institución universitaria como lo es la Universidad Popular Autónoma de Puebla, UPAEP, institución a la cual agradezco la formación académica y su vinculación con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACyT, de quién también obtuve el apoyo necesario.

Resumen

El autotransporte federal de carga es uno de los medios actuales más dinámicos, flexibles e importantes en el mercado, siendo fundamental en el abastecimiento de los centros de producción y consumo, en el impulso al desarrollo de las actividades productivas y comerciales y en la promoción de la competitividad dentro de los ámbitos nacional e internacional.

Desde los años 1980, México ha impulsado un nuevo modelo de desarrollo promotor de exportaciones al abrir la economía con distintos tratados comerciales, siendo el autotransporte de carga uno de los primeros sectores en este proceso e iniciado en 1989 con una desregularización acrecentadora de la productividad al liberar la competencia dentro de la industria del autotransporte, impulsora de una mayor integración logística de las actividades económicas atendidas por la misma industria así como la fijación de precios reales y competitivos sobre la libre acción del mercado. La desregulación aceleró el proceso de segregación en una industria con una gran cantidad de individuos y empresas pequeñas quienes cubren gran parte de las distancias cortas y, aumentó el rango de servicios proporcionados; además, participan un número limitado de grandes empresas propietarias con un número muy superior de unidades de transporte orientadas a la prestación de la transportación, de larga distancia y/o especializado, con unidades diseñadas para realizar el servicio.

El proceso para cubrir las solicitudes del servicio de autotransporte de carga recurre a diversas tomas de decisiones originadas por la solicitud de la prestación del servicio por parte del cliente.

El modelo especializado para la toma de decisiones que se presenta busca facilitar la determinación y selección de los cursos de acción adecuados en las principales y recurrentes situaciones de decisión en la operación de las empresas transportistas que buscan maximizar las utilidades y la minimización de los costos en los que se incurre.

Cada modelo reusable de decisión se forma por un modelo maestro y un metamodelo y se diseña para atender a un conjunto de decisiones las cuales pueden comprender elementos comunes además de tener el suficiente conocimiento para identificar su estructura general. La recurrencia y la complejidad de la situación de la decisión, permite desarrollar el modelo reusable de decisión.

Esta tesis se sustenta sobre una revisión bibliográfica al problema del ruteo vehicular, estableciendo distribuciones probabilísticas y variables continuas y aplicando las técnicas de inteligencia artificial, como lo es el Algoritmo genético, y la simulación de Monte Carlo.

La modelación matemática de optimización aplicada a la elección de viajes de transportación de carga permite, primeramente, determinar los viajes cuyos ingresos sean

óptimos y a los cuales les serán asignados las unidades de arrastre y, finalmente, a dichos viajes les sean asignados las unidades tractoras considerando los costos en que se incurre de forma que sea maximizada la utilidad y representando los riesgos con distribuciones de probabilidad y variables continuas de manera combinada con factores determinísticos y variables discretas.

Un segundo modelo matemático optimizador es empleado en la adquisición de unidades cuya finalidad es aumentar la flotilla para poder enfrentar a una mayor demanda de viajes de autotransportación de carga. En este caso, el modelo matemático recurre a la combinación de programación lineal y no lineal, además de las representaciones probabilísticas y uso de variables continuas así como factores determinísticos y variables discretas.

La simulación de Monte Carlo empleada para la compra de llantas, refacciones que se caracterizan por su alto precio, además de presentar relaciones entre elementos cualitativos y cuantitativos para su costeo y evaluación, respectivamente, son representados con parámetros determinísticos y distribuciones probabilísticas.

Los resultados han sido optimistas y han demostrado su eficiencia como técnicas de apoyo para mejorar la utilidad de los viajes de transportación de carga y minimizado el riesgo y el costo por los accidentes.

Se supone como característica innovadora de esta tesis, el evaluar el impacto de la selección óptima de viajes de carga, la adquisición de la canasta básica de las unidades y de nuevas unidades y la contratación de operadores en la gestión logística, aplicando cálculos probabilísticos y utilizar variables continuas para mejorar el proceso de decisión a fin de satisfacer la demanda de su mercado y mejorar la función del nivel de servicio al cliente así como establecer un proceso objetivo de evaluación de candidatos para la operación del tracto camión.

Palabras clave-Problema de ruteo vehicular (PRV), Logística (L), Algoritmo genético (GA), Simulación Monte Carlo (SMC), Modelo Reusable (MR), Diagrama de Influencia (DI)

Abstract

The federal auto transport cargo is one of the most dynamic, flexible and important at the market, being fundamental in providing the production and consumption centers, fostering the development of the productive and commercial activities and promoting competitiveness within the national and international environment.

Since 1980, México has fostered a new development model promoter of exports when opening the economy with different trade agreements, being the auto transport of cargo one of the first sectors in this process and begun at 1989 with a growing deregulation of the productivity by releasing the competence inside the auto transport industry, driving one of the most logistics integration of the economical activities covered by the same industry, as much as the price fixing and competitive based on the free market action. The deregulation accelerated the process of segregation in an industry with a number of individuals and small enterprises that cover a number of short distances and increased the range of services provided; also involved a limited number of large companies that own a large number of transport units aimed at the provision of transportation, long distance and/or specialized, with units designed for service.

The process to meet the requests of the trucking service uses multiple decision making arising from the application of the provision of service by the customer.

The specialized model for decision making that occurs seeks to facilitate the identification and selection of appropriate courses of action in the main and recurring decision situations in the operation of the transport companies that seek to maximize profits and minimize costs incurred.

Each reusable decision model is formed by a master model and a metamodel and is designed to meet a set of decisions which may include common elements besides having sufficient knowledge to identify its general structure. Recurrence and complexity of the situation of the decision, allows developing reusable decision model.

This thesis is based on a literature review to the problem of routing vehicles, establishing distributions probabilistic and continuous variables and applying artificial intelligence techniques, such as the genetic algorithm, and Monte Carlo simulation.

Mathematical modeling of optimization applied to the choice of transportation of cargo travel allows, firstly, determine whose income is optimal travel which towed units will be assigned them and, finally, to such travel units are assigned tractors considering the costs incurred in such a way that the utility is maximized and representing the risks with probability distributions and continuous variables in combination with factors deterministic and discrete variables.

A second optimizer mathematical model is used in the acquisition of units whose purpose is to increase the fleet to confront a greater demand for travel of loading autotransportation. In this case, the mathematical model uses the combination of linear and non-linear programming in addition to use of continuous variables as well as discrete variables and factors deterministic and probabilistic representations.

Monte Carlo simulation used for the purchase of tires, parts that are characterized by their high price, in addition to presenting relations between qualitative and quantitative elements for its costing and evaluation, respectively, are represented with parameters deterministic and probabilistic distributions.

Results have been optimistic and have shown their efficiency as support techniques to improve cargo transportation travel utility and minimized the risk and cost for accidents.

It is assumed as innovative feature of this thesis, assess the impact of the optimum selection of travel load, the acquisition of the market basket of the units and new units and the hiring of operators in the logistics management, applying probabilistic calculations and use continuous variables to improve the decision-making process in order to satisfy the demand of its market and improve the function of the level of service to the client, as well as establishing an objective process evaluation of candidates for the operation of the truck.

Key Words-Routing Vehicular Problem (VRP), Logistics (L), Genetic Algorithm (GA), Monte Carlo Simulation (MCS), Reusable Model (RM), Influence Diagram (ID).

Introducción

Ante la apertura del mercado nacional tanto del autotransporte como comercial a partir de los 1980s, las empresas transportistas de carga se enfrentan a un mercado cada vez más creciente, competitivo y globalizado al cual tienen que ofertar sus servicios; mercado en el cual el autotransporte participó en el 2008 desplazando 484 toneladas que representaban el 57% servicio proporcionado con unidades cuya edad promedio es de 14 años (Cámara Nacional del Autotransporte de Carga, 2010).

Ante esta situación, las empresas transportistas para enfrentar el problema de responder a la demanda, requiere de contar con capacidad en los recursos y servicios oportunos, los cuales les produzcan beneficios económicos cuya reinversión les permita crecer e incrementar tales beneficios.

A partir de los años 1950s, periodo en el cual Dantzig y Ramser abordaron el problema del ruteo vehicular con programación lineal, diversos autores han incursionado en el tema aplicando diversas metodologías y a partir de 1964 Clarke y Wright introducen el método de Ahorros con el cual se busca el ahorro de millas conectando a los clientes en una misma ruta.

Sin embargo, en la mayoría de los modelos se aplican herramientas determinísticas y heurísticas de manera que no reflejan los riesgos a la cual está sometida el desplazamiento de la carga.

Esta investigación se ha enfocado a la logística de la cadena de suministro realizada por pequeñas empresas regionales de autotransporte al momento de asignar las unidades para el transporte de la carga, adquirir los neumáticos requeridos en los vehículos asignados, contratar los operadores para las unidades correspondientes y la necesidad de incrementar la flota vehicular.

Fundamentada en la hipótesis: “Un modelo para la toma de decisiones múltiple ayudará a las empresas transportistas a gestionar adecuadamente sus recursos con el objetivo de maximizar sus utilidades.”, esta tesis, en términos generales, explora el uso de distribución normal, variables continuas y programación lineal, combinados con variables continuas y programación lineal.

La presente tesis se compone de cinco capítulos. El primero de ellos presenta la estructura de esta e incluye la problemática del autotransporte así como las bases sobre la cual se elabora esta tesis. El segundo capítulo busca relacionar los fundamentos y conceptos útiles en el desarrollo de este trabajo así como exponer y comprender la aplicación de algunas técnicas y herramientas de la Inteligencia artificial.

En el capítulo tres, se presentan los modelos reusables para la toma de decisión de criterio múltiple presentando consistente en un modelo maestro y un metamodelo de cada una de las decisiones modeladas.

En el capítulo cuatro, son aplicados los modelos a una empresa pequeña transportista de la región desarrollándose modelos aritméticos de optimización en las tomas de decisión de Elección del viaje y Adquisición de nuevas unidades los cuales son resueltos con un algoritmo genético comercial llamado RISKOptimizer el cual permite manejar parámetros ciertos o deterministas así como inciertos o de riesgo mismos que son representados con distribuciones de probabilidad.

El modelo matemático optimizador para la toma de decisión de Adquisición de nuevas unidades, además de los parámetros mencionados, recurre a programación no lineal aplicada en el cálculo del valor en el tiempo tanto de los pagos mensuales como la utilidad total del proyecto.

En este capítulo, también se simulan la compra de llantas y la contratación de operadores con la finalidad de hacer las adquisiciones con mayor eficiencia y la asignación de los operadores.

En el capítulo cinco, se expresan las conclusiones que emergen del cuerpo del trabajo.

Por último, el capítulo de Recomendaciones y futuras investigaciones resalta algunas ideas promotoras de la mejora en la actividad autotransportista.

Como anexo, se presentan ejemplos adicionales de los modelos matemáticos optimizados desarrollados.

Índice

Resumen.	i
Abstract.	iii
Introducción.	v

Capítulo	Tema	Página
1	Estructura.	
1.1	Antecedentes de la Investigación.	2
1.2	Problema de la Investigación	3
1.2.1	El autotransporte de Carga Federal en el Estado de Veracruz	7
1.2.2	La Empresa Transportista.	7
1.3	Hipótesis	8
1.4	Objetivos	8
1.4.1	Objetivo General.	8
1.4.2	Objetivos Específicos.	8
1.4.3	Preguntas de Investigación.	9
1.5	Justificación de la Investigación.	9
1.6	Metodología.	10
1.7	Alcances y Limitaciones.	13
2	Marco teórico.	
2.1	Logística y Cadena de Suministros.	15
2.2	Logística.	16
2.3	Análisis de decisiones	17
2.3.1	Teoría de Decisiones Multicriterio	19
2.3.2	Modelación en el análisis de decisiones	19
2.3.2.1	Modelo reusable	21
2.3.2.1.1	El modelo maestro	21
2.3.2.1.1.1	Diagrama de influencia	23
2.3.2.1.2	El metamodelo	25
2.3.2.1.2.1	El diagrama de flujo	27
2.4	Programación lineal	27
2.5	Programación No Lineal	30
2.6	Simulación de Monte Carlo.	31
2.7	Distribución de Probabilidad	33
2.8	Optimización	33
2.9	Algoritmo Genético	34
2.10	Estado del Arte.	35
2.10.1	Métodos de Ahorro	37
2.10.2	Algoritmo Genético	41

3	Modelo de decisión multicriterio en una empresa transportista	
3.1	El modelo maestro	45
3.1.1	Asignación de unidades	45
3.1.2	Compra de llantas	50
3.1.3	Adquisición de nuevas unidades	54
3.1.4	Contratación de operadores	57
3.2	El metamodelo	59
4	Aplicación de los modelos de decisión multicriterio en la empresa de transporte	
4.1	Caso de estudio: empresa transportista de la región Orizaba – Córdoba	75
4.2	Optimización de la asignación del viaje a través de un Algoritmo genético	77
4.2.1	Asignación de unidades de arrastre	77
4.2.2	Asignación de la unidad tractora	82
4.2.3	Solución a la optimización de la asignación de viajes	90
4.3	Análisis de decisión para la compra de llantas a través de Simulación Monte Carlo	91
4.3.1	Desarrollo del modelo de Simulación para la compra de llantas	93
4.3.1.1	Precio de los neumáticos (P_n)	94
4.3.1.2	Desempeño del producto ($ND(P_a)$)	95
4.3.1.3	Disponibilidad en días del producto (QCd)	96
4.3.1.4	Costo complementario ($N(a+b+v)$)	98
4.3.2	Aplicación de la simulación Monte Carlo al modelo de compra de llantas	98
4.3.2.1	Resultados de la simulación	99
4.3.2.1.1	Análisis gráfico	99
4.3.2.1.2	Análisis numérico	102
4.3.2.2	Solución a la simulación de la compra de llantas	102
4.4	Optimización de la adquisición de nuevas unidades a través de un Algoritmo genético	103
4.4.1	Solución a la optimización de la adquisición de unidades	109
4.5	Selección de operadores	109
4.5.1	Desarrollo del modelo de Simulación para la selección de operadores	110
4.5.1.1	Edad	111
4.5.1.2	Años de experiencia	112
4.5.1.3	Habilidad en el manejo	113
4.5.1.4	Examen psicológico	114
4.5.1.5	Estado civil	115
4.5.1.6	Estudios terminados o nivel educativo del operador	115
4.5.1.7	Referencias personales	116
4.5.1.8	Antecedentes penales	117
4.5.1.9	Deudas en el buró de crédito	117

4.5.1.10	Licencia de chofer vigente	118
4.5.2	Solución a la simulación de la contratación de operadores	118
5	Conclusiones y recomendaciones	121
	Investigaciones futuras	127
	Referencias	129
	Anexos	
	ANEXO A: Ejemplo de aplicación de asignación de unidades de arrastre	135
	ANEXO B: Ejemplo de aplicación de asignación de unidades de tracción	137
	ANEXO C: Gráficos del coeficiente de correlación de las simulaciones	140

Índice de cuadros

Nº	Cuadro	Página
1	Participación nacional del transporte	3
2	Capacidad de carga de los autotransportes (kgs)	4
3	Criterios para la toma de decisiones múltiples en una empresa transportista	6
4	Pares estatales con mayor movimiento de carga carretera	7
5	Estructura empresarial del autotransporte de carga	7
6	Relación de unidades tractoras	76
7	Relación de unidades de semirremolque	76
8	Relación de unidades de remolque	76
9	Relación de operadores de las unidades tractoras	76
10	Primera generación o solución básica factible inicial	79
11	Asignación de unidades	80
12	Asignación óptima de unidades de arrastre	82
13	Tractocamión i asignado al viaje de carga j	84
14	Información de los viajes de carga	84
15	Parámetros inciertos de las casetas y los viáticos	85
16	Representación probabilística de los accidentes	85
17	Parámetro incierto de la afinación del motor	86
18	Parámetro incierto de la afinación de la transmisión	86
19	Parámetro incierto del mantenimiento	87
20	Parámetros inciertos de los neumáticos	87
21	Parámetro incierto del seguro	87
22	Parámetro incierto de la depreciación	88
23	Rendimiento del combustible (km/lit)	88
24	Tabulación de la asignación de tractocamiones	90
25	Tabulación de las utilidades por la realización del servicio de transportación de carga	90
26	Tipos y marcas de llantas	94
27	Precio unitario ajustado	95

28	Ponderación del proveedor	96
29	Desempeño del proveedor	96
30	Desempeño del producto	96
31	Ponderación de la tardanza del proveedor	97
32	Calificación de la tardanza del proveedor	97
33	Ponderación del servicio del proveedor	97
34	Representación de los días de tardanza o demora	98
35	Distribución normal de la alineación, balanceo y válvulas	98
36	Correspondencia de las simulaciones con las llantas	99
37	Rangos de las simulaciones (miles de pesos)	100
38	Grado de correlación de Spearman	101
39	Grado de regresión	101
40	Simulación no. 2	102
41	Resultados de la simulación	102
42	Flujo monetario	105
43	Características de la unidad	105
44	Adquisición a crédito	106
45	Análisis del pago mensual	106
46	Análisis de las fallas en las unidades	107
47	Análisis de la entrega de las unidades	108
48	Resumen de la optimización de las utilidades a valor presente neto	110
49	Clasificación edad	112
50	Ponderación edad	112
51	Clasificación de la experiencia	113
52	Relación edad/experiencia	113
53	Ponderación años de experiencia	113
54	Clasificación habilidad	114
55	Ponderación de la habilidad en el manejo	114
56	Clasificación test psicológico	114
57	Ponderación del test psicológico	115

58	Clasificación estado civil	115
59	Ponderación estado civil	115
60	Clasificación de los estudios	116
61	Ponderación estudios	116
62	Clasificación referencias personales	116
63	Ponderación de las referencias personales	117
64	Clasificación antecedentes penales	117
65	Ponderación antecedentes penales	117
66	Clasificación deudas en el buró	117
67	Ponderación deudas en el buró de crédito	118
68	Clasificación licencia de chofer	118
69	Ponderación licencia vigente	118
70	Calificación final	119
71	Evaluación total de los candidatos	120

Índice de figuras

Nº	Figura	Página
1	Sistema de transporte para la asignación de viajes	11
2	Sistema para la evaluación de proveedores de llantas	12
3	Sistema para la evaluación de compra de nuevas unidades	12
4	Sistema para la selección de operadores	12
5	Nodo de decisión	24
6	Nodo probabilístico o de incertidumbre	24
7	Nodo determinístico	24
8	Nodo evocativo	24
9	Tipos de relaciones	25
10	Técnicas de optimización con ejemplos	34
11	Decisión “Elección del viaje”	46
12	Decisión “Asignación unidad de arrastre”	47
13	Influencia de los gastos por el servicio del autotransporte en la maximización de las utilidades	47
14	Influencia de los gastos fijos en la maximización de las utilidades	48
15	Influencia de los gastos de viaje en la maximización de las utilidades	48
16	Influencia de la afinación del motor en los gastos de viaje	48
17	Influencia de la afinación de la transmisión en los gastos de viaje	49
18	Influencia del mantenimiento de la unidad en los gastos de viaje	49
19	Influencia del gasto por llantas en los gastos por viaje	49
20	Influencia de los gastos por la depreciación del vehículo en los gastos por viaje	49
21	Influencia del gasto en el seguro del vehículo en los gastos de viajes	50
22	Influencia del gasto por consumo de combustible en los gastos de viaje	50
23	Modelo maestro “Asignación de unidades”	51
24	Influencia de la compra de llantas del autotransporte en la minimización del costo	51
25	Influencia de la compra de llantas al contado en la minimización del costo	52

26	Influencia de los pagos a plazo a valor presente neto en la minimización del costo	52
27	Influencia de la eficiencia del producto en la minimización del costo	53
28	Influencia de la disponibilidad del producto en días en la minimización del costo	53
29	Influencia del costo de servicio en la minimización del costo	54
30	Modelo maestro “Compra de llantas”	54
31	Influencia de la adquisición de unidades para el autotransporte en la maximización de la utilidad	54
32	Influencia del costo de retraso en la maximización de la utilidad	54
33	Influencia del costo de la falla en la maximización de la utilidad	54
34	Influencia de los gastos por retrasos y fallas en la maximización de la utilidad	54
35	Influencia del enganche en la maximización de la utilidad	56
36	Influencia del valor futuro de la inversión en la maximización de la utilidad	56
37	Modelo maestro “adquisición de unidades”	56
38	Influencia de factores cualitativos en la selección del candidato óptimo para Operador	57
39	Influencia de la “edad” en la selección del candidato óptimo para operador	57
40	Influencia de los “años de experiencia” en la selección del candidato óptimo para operador	57
41	Influencia de la “habilidad en el manejo” en la selección del candidato óptimo para operador	57
42	Influencia del “test psicológico” en la selección del candidato óptimo para operador	58
43	Influencia del “Estado civil” en la selección del candidato óptimo para operador	58
44	Influencia del “Nivel de estudios” en la selección del candidato óptimo para operador	58
45	Influencia del “Referencias personales” en la selección del candidato óptimo para operador	58
46	Influencia de los “Antecedentes penales” en la selección del candidato óptimo para operador	59

47	Influencia del “Historial crediticio” en la selección del candidato óptimo para operador	59
48	Influencia de la “Licencia vigente” en la selección del candidato óptimo para operador	59
49	Modelo maestro “Contratación de operador”	60
50	Metamodelo Asignación de viajes	61
51	Metamodelo Compra de llantas	64
52	Metamodelo Adquisición de unidades	67
53	Metamodelo Contratación de operadores	70
54	Estructura de la Utilidad	83
55	Tendencia resumen	100
56	Resumen de tendencias contratación	120

Índice de ecuaciones

Nº	ecuación	Página
1	Maximización del Ingreso	80
2	Restricción de disponibilidad de semirremolques	81
3	Restricción de disponibilidad de remolques	81
4	Restricción de disponibilidad de tractocamión	81
5	Restricción de Semiremolques requeridos en el viaje j	81
6	Restricción de Remolque 1 requerido para el viaje j	81
7	Restricción de Remolque 2 requerido para el viaje j	81
8	Restricción de Remolque 3 requerido para el viaje j	81
9	Restricción de Remolque 4 requerido para el viaje j	81
10	Restricción de Remolque 5 requerido para el viaje j	81
11	Restricción de Remolque 6 requerido para el viaje j	81
12	Restricción de Tractocamiones requeridos para el viaje j	81
13	Restricción de No envío semirremolque y remolque	81
14	Restricción lógica	81
15	Ecuación general de la utilidad	83
16	Conversión de la ecuación general de utilidad	83
17	Ingreso	84
18	Costo total	84
19	Gastos fijos	85
20	Peaje	85
21	Costo del operador	85
22	Gastos imprevistos	85
23	Riesgo de accidente	85
24	Afinación del motor	86
25	Factor costo afinación del motor	86

26	Afinación de la transmisión	86
27	Factor costo afinación de la transmisión	86
28	Costo del mantenimientos	86
29	Factor costo del mantenimiento	87
30	Costo de los neumáticos	87
31	Factor costo del neumático	87
32	Seguro del vehículo	87
33	Factor seguro	87
34	Depreciación del vehículo	87
35	Factor depreciación	87
36	Gasto del combustible	88
37	Relación kilometraje – combustible	88
38	Función objetivo maximización utilidades	89
39	Restricción tractocamión 1 a viaje j	89
40	Restricción tractocamión 2 a viaje j	89
41	Restricción tractocamión 3 a viaje j	89
42	Restricción tractocamión 4 a viaje j	89
43	Restricción tractocamión 5 a viaje j	89
44	Restricción tractocamión 6 a viaje j	89
45	Restricción asignación del viaje 1 a tractocamión j	89
46	Restricción asignación del viaje 2 a tractocamión j	89
47	Restricción asignación del viaje 3 a tractocamión j	89
48	Restricción asignación del viaje 4 a tractocamión j	89
49	Restricción asignación del viaje 5 a tractocamión j	89
50	Restricción asignación del viaje 6 a tractocamión j	89
51	Restricción del total de viajes elegidos	89
52	Restricción lógica	89

53	Costo total compra de llantas	93
54	Ajuste diferencial de la duración	94
55	Precio unitario ajustado	94
56	Nuevo precio de las llantas	94
57	Pagos mensuales	95
58	VPN sobre pagos mensuales	95
59	Disponible en caja	95
60	Disponible en bancos	95
61	Distribución discreta del desempeño del producto	96
62	Costo del desempeño del producto	96
63	Costo de la disponibilidad del producto	97
64	Utilidad promedio diaria	97
65	Ecuación general del valor futuro de la inversión	104
66	Ecuación general del valor presente neto	104
67	Capital actual	105
68	Pronóstico de ingresos	105
69	Disponibilidad para la inversión	105
70	Valor futuro de los ingresos pronosticados	105
71	Aceptación del crédito	106
72	Cálculos del enganche	106
73	Saldo por pagar	106
74	Cálculo del pago mensual al proveedor A	107
75	Cálculo del pago mensual a los proveedores B, C, D y E	107
76	Valor futuro de los pagos mensuales	107
77	Representación fallas mecánicas	107
78	Representación gravedad fallas	107
79	Cuantificación monetaria de la falla	107

80	Disponibilidad de la unidad del proveedor A	107
81	Disponibilidad de las unidades del proveedor B, C, D y E	108
82	Representación de los días de entrega	108
83	Costo retraso de la entrega	108
84	Maximización de la utilidad por la compra de unidades	108
85	Reexpresión de la ecuación de maximización de la utilidad	108
86	Restricción de inversión inicial	108
87	Restricción para adquirir solo un tractocamión	108
88	Restricción de adquirir hasta tres unidades	109
89	Restricción de pago mensual p	109
90	Restricción lógica	109
91	Función objetivo de la evaluación del candidato	111
92	Calificación edad del operador	112
93	Relación edad – experiencia	113
94	Calificación habilidad del operador	114
95	Calificación examen psicológico	114
96	Calificación estado civil	115
97	Calificación estudios terminados	116
98	Calificación de las referencias personales	116
99	Calificación de los antecedentes penales	117
100	Calificación del historial crediticio	117
101	Calificación posesión de la licencia de chofer	118

CAPITULO 1: ESTRUCTURA

Capítulo 1 Estructura.

Los problemas logísticos en la asignación de unidades, adquisición de neumáticos, selección de operadores y adquisición de unidades de arrastre y tractivas, cuestiones que son planteadas al transportar las mercancías, también son importantes en la movilización de mercancías en las empresas transportistas de todo tamaño incluyendo las establecidas en la región de Orizaba-Río Blanco en el estado de Veracruz, problemas ante los cuales se busca una propuesta de solución.

Proponer una solución a los problemas mencionados anteriormente, requiere de seguir una estructura en la investigación la cual permita ejercer el control de la misma a fin de encontrar resultados confiables y su relación con los interrogantes surgidos de la hipótesis, una vez que se precisó el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de la investigación y se formularon las hipótesis tratando de visualizar la manera práctica y concreta de responder a las preguntas de investigación, además de cubrir los objetivos fijados.

1.1 Antecedentes de la Investigación.

El autotransporte federal de carga es uno de los medios actuales más dinámicos, flexibles e importantes en el mercado, siendo fundamental en el abastecimiento de los centros de producción y consumo, en el impulso al desarrollo de las actividades productivas y comerciales y en la promoción de la competitividad dentro de los ámbitos nacional e internacional.

Desde la década de los años 1980, México acogió un nuevo modelo de desarrollo promotor de exportaciones abriendo la economía a través de los distintos tratados; uno de los primeros sectores en este proceso de reestructuración fue el del autotransporte de carga, iniciado en 1989 con un proceso de desregularización para incrementar la productividad al liberar la competencia dentro de la industria del autotransporte, el cual fomentara una mayor integración logística de las actividades económicas atendidas por la misma industria así como la fijación de precios reales y competitivos sobre la libre acción del mercado. La desregulación aceleró el proceso de segregación en la industria donde participan una gran cantidad de individuos y empresas pequeñas quienes cubren gran parte de las distancias cortas y aumentó el rango de servicios proporcionados; además, participan un número limitado de grandes empresas propietarias con un número muy superior de unidades de transporte orientadas primordialmente a la prestación de los servicios de transporte, de larga distancia y/o especializado, con unidades diseñadas especialmente para realizar el servicio.

La importancia de la transportación de carga se observa en el desplazamiento de 849 millones de toneladas durante el año del 2008, a través del servicio por carretera, marítimo, en ferrocarril y aérea (Cámara Nacional del Autotransporte de Carga, 2010) cuyo desglose se observa en el cuadro no. 1.

El desplazamiento de carga por carretera ha sido clave en la distribución de mercancías a las diversas regiones del país por su gran flexibilidad para adaptarse a las necesidades de los clientes y la extensa cobertura alcanzada por la red carretera pues del desplazamiento en el año del 2008,

de 849 millones de toneladas, el 57% (484 toneladas) se trasladó con una flota vehicular terrestre la cual asciende a 501,538 unidades clasificadas en motrices (273,455 unidades), de arrastre (227,806 unidades) y grúas industriales (277); tales unidades presentaban una edad promedio de 14 años de antigüedad.

Desplazamiento de la carga nacional según el medio de transporte		
Transporte	Toneladas	Porcentaje
Autotransporte	484	57.0
Marítimo	265	31.2
Ferrocarril	100	11.8
Aéreo	0	0
TOTAL	849	100

Cuadro no. 1: Participación nacional del transporte
Fuente: Cámara Nacional del Autotransporte

La importancia del autotransporte también se refleja en los siguientes hechos:

- El autotransporte de carga trasladó el flete de 71 ramas de la actividad económica;
- De las 584 millones de tonelada de carga terrestre, el 82.9% (484 millones de toneladas), se desplazó con autotransporte;
- La industria del transporte de carga ha realizado 4'549,736 de cruces fronterizos al mes de octubre del 2009 a través de las aduanas de México y Estados Unidos de Norteamérica;
- Participó en la generación del 3.7% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional;
- Más de cuatro millones de familias dependieron directa e indirectamente del autotransporte de carga;
- El intercambio comercial terrestre entre México y Estados Unidos de Norteamérica ascendió en el 2009 a \$240,217 millones de dólares.

Un rasgo importante concerniente al costo aplicado al servicio de la transportación, ha sido el incremento en el precio de la canasta básica utilizada por los transportes de carga la cual se compone de productos como combustible, los sueldos y salarios, los aceites y lubricantes, las llantas, los acumuladores, el precio de las autopistas etc. En el caso del combustible, el diesel ha sido el insumo de mayor consumo, cuyo precio se ha deslizado desde \$5.95, en enero del 2008, hasta \$8.40 en marzo del 2010, es decir ha tenido un incremento aproximado del 41.6% durante el periodo mencionado. El restante de los productos mencionados, han sufrido modificaciones, en general, superiores a la inflación acumulada las cuales entre enero del 2006 y enero del 2010 ha sido del 15.73% (Cámara Nacional del Autotransporte de Carga, 2010).

1.2 Problema de Investigación

La necesidad humana de obtener bienes necesarios y/o complementarios existentes en una ubicación distinta, le incita a dirigirse hacia estas disparando el movimiento de las mercancías; aunado a esto, el establecimiento de los centros de producción y distribución así como la infraestructura necesaria en distintos puntos geográficos, también crea la necesidad de medios de transportación para dichos bienes.

La gestión logística comprende a la organización, el control y la ejecución del flujo de materiales e información desde el inicio de una determinada actividad industrial hasta su entrega final al cliente bajo un criterio de máxima satisfacción al mínimo costo, dentro de la cual resalta el movimiento físico de la mercancía hacia los puntos de necesidad, de manera creciente, como una actividad importante dentro del ámbito de dicha gestión.

Las empresas productoras de bienes o servicios, así como la industria del autotransporte, enfrentan nuevos problemas por el cambio en la estructura del mercado, ocasionada por dos fenómenos:

- La globalización de los mercados, origen de una descentralización económica, y
- Una nueva reglamentación en el Autotransporte Federal de Carga a partir de 1989, donde se reforma el sistema de concesiones y permisos en la modalidad del transporte con limitaciones de rutas y productos a cambio de un sistema eliminador de las diferencias entre las cargas regular y especializada así como las restricciones geográficas para su distribución, con excepción de los productos explosivos, tóxicos y químicos, y libera las tarifas del servicio de carga (Instituto Mexicano del Transporte, 2008).

En el desplazamiento de la carga de bienes, el autotransporte de carga terrestre es el segmento de mayor relevancia nacional dentro de la República mexicana pues al año 2008 desplazó el 57% de la carga total (Cámara Nacional del Autotransporte de Carga, 2010) transportada con vehículos formados con una unidad tractiva y una de arrastre de diferentes capacidades cuyas características se enuncian en el cuadro no. 2.

Vehículos de carga	Capacidad de carga
Unidad tractiva	
Camión 2 ejes, 215 HP	10,374 kgs.
Camión 3 ejes, 215 HP	18,000 Kgs.
Tracto camión 2 ejes, 450 HP	35,440 kgs.
Tracto camión 3 ejes, 450 HP	45,549 kgs
Unidad de arrastre	
Plataforma 40 ft, semirremolque, 2 ejes	30,000 kgs.
Plataforma 40 ft, semirremolque, 3 ejes	35,000 kgs.
Jaula 40 ft, semirremolque, 2 ejes	25,000 kgs.
Jaula 40 ft, semirremolque 3 ejes	35,000 kgs
Caja aluminio 40ft, semirremolque 2 ejes	25,000 kgs.
Caja aluminio 40ft, semirremolque 3 ejes	35,000 kgs.
Semirremolque tipo plataforma 20 ft, 1 eje	30,000 kgs.
Semirremolque tipo plataforma 24 ft, 2 eje	30,000 kgs.

Cuadro no. 2: Capacidad de carga de los autotransportes (kgs.)

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 2008

Una de las características generales en esta industria, es el suministro del servicio de transportación de la carga de los bienes de la empresa productora y/o distribuidora el cual puede ser efectuado con transportes propios, con el servicio de contratación del servicio de autotransporte externo y/o con una combinación de ambos. En el caso de la contratación del

servicio, caso que se desarrolla en esta tesis, la gestión logística adecuada al movimiento externo de carga es realizado por una empresa independiente bajo la condición de la entrega final al cliente con la máxima satisfacción al mínimo costo, lo cual origina en las empresas independientes la toma de decisiones sobre la asignación de la unidad y el operador enfocándose así el problema al tipo de carga y a las gestiones relativas a los puntos de destino y origen y la forma del transporte de la mercancía.

La gestión relacionada con el punto de destino implica, entre otros factores, la localización del receptor de la carga, la hora de entrega, el tiempo de descarga, etc. en tanto que la tarea en el punto de origen contempla la localización y contratación del emisor de la carga, tiempo de carga y horario de salida, la duración del viaje, etc.

Existen varios tipos de carga como lo son la general (incluye productos perecederos), agrícola, mineral, petróleo y derivados y otros. En el caso específico de este análisis, el enfoque es la transportación de la carga en general y agrícola.

El mandato de la forma del transporte considera las rutas, el tipo de transporte, el control y mantenimiento de los vehículos, la seguridad del producto, etc.

Toda empresa rentable requiere de los ingresos provenientes de su actividad y su crecimiento dependerá de estos al invertirlos; así, las empresas transportistas requieren, primeramente, contratar viajes de transportación de carga con un conjunto de recursos limitados por lo cual se recurre a un criterio de discriminación o selección de carga y, en consecuencia, tomar la decisión de aceptar, rechazar o ceder los servicios de carga a un tercero, considerando los beneficios económicos o utilidades. Los ingresos obtenidos, generadores de utilidades, se aplican en la satisfacción de las necesidades del transportista como la adquisición de llantas necesarias para las unidades transportadoras, y la adquisición de nuevas unidades para poder ampliar la oferta de servicios la cual puede evaluarse en el repago del capital invertido y la tasa de rendimiento requerida sobre el mismo. Además se tiene que considerar la selección de los operadores mejor calificados, quienes realizarán los desplazamientos. Responder a este fenómeno, motiva a los empresarios a tomar múltiples decisiones concernientes a la asignación de viajes, el mantenimiento de las unidades, la inversión rentable en nuevas unidades tanto de arrastre como tractivas y la selección de operadores con la finalidad de dar un mejor y mayor servicio así como de maximizar las utilidades.

La empresa transportista, para asignar viajes, toma decisiones relacionadas con la disponibilidad de las unidades, la distancia del viaje de carga y la confiabilidad del viaje. La disponibilidad de las unidades comprende al contar con las unidades en buen estado mecánico, existencia de las unidades de arrastre con la capacidad y tipo, caja o jaula, requerida; la distancia comprende cuestiones como la duración del servicio, el kilometraje a recorrer y el combustible a consumir. Finalmente, la confiabilidad consiste en que la empresa transportista garantice el buen estado de la carga así como su entrega en el punto de destino con el apoyo de un seguro de la unidad. El mantenimiento de las unidades es importante pues consiste en conservar a las unidades en buen estado mecánico para realizar los viajes solicitados siendo importante la afinación del motor y la

transmisión así como la tracción de las unidades. Dentro de esta categoría, se agrupa a la canasta básica del autotransporte la cual considera las refacciones, aditivos y mano de obra necesaria en el servicio de afinación tanto del motor como de la caja de transmisión de la flota vehicular. Además, la categoría correspondiente a la tracción comprende la suspensión, la dirección y las actividades de mayor costo como es la adquisición y cambio de las llantas la cual comprende la compra, el cambio y los servicios de alineación y balanceo y válvulas.

La inversión en nuevas unidades se realiza para dar mayores servicios de movilización de carga siendo necesario decidir acerca de las características del tipo de unidad a adquirir así como sus características, el capital de la empresa así como los pronósticos correspondientes y los proveedores. El tipo de unidad a adquirir puede ser tractiva y/o de arrastre –remolque y/o semirremolque- las cuales pueden ser requeridas según sus características de modelo, antigüedad de la unidad, el estado mecánico que pueden estar ofertadas por proveedores a un costo y plan de financiamiento. Para realizar esta adquisición, la empresa transportista debe contar con un capital con el cual pueda afrontar los gastos el cual está reflejado en los ingresos actuales y pronosticados, así como el efectivo para poder enfrentar gastos imprevistos por este concepto. El contratar el operador para la unidad surge como una necesidad al momento de adquirir una nueva unidad; considera cuestiones como la experiencia y habilidad en el manejo, la edad, el nivel escolar, las referencias, antecedentes penales y crediticos, tenencia de licencia vigente. Las decisiones múltiples mencionadas pueden verse en el cuadro no. 3.

ASIGNACION VIAJE	MANTENIMIENTO	INVERSION	OPERADOR
❖ Disponibilidad: • Estado mecánico • Capacidad • Tipo: ✓ Caja ✓ Jaula	❖ Afinación: • Motor • Transmisión	❖ Unidades: • Tipo: tractiva o arrastre	❖ Capacidad: • Experiencia • Habilidad • Nivel escolar
❖ Distancia: • Duración • Kilometraje • Combustible	❖ Tracción: • Suspensión • Dirección • Llantas: ✓ Cambio ✓ Alineación ✓ Balanceo ✓ Válvulas	❖ Características: • Modelo • Antigüedad • Estado mecánico	❖ Edad
❖ Confiabilidad: • Seguro		❖ Proveedores: • Costo • Financiamiento: ✓ Interés ✓ Enganche	❖ Referencias: • Personales • Penales • Crediticias
		❖ Capital: • Ingreso acumulado y pronosticado • Efectivo imprevisto	❖ Licencia de conducir vigente

Cuadro no. 3: Criterios para la toma de decisiones múltiples en una empresa transportista

1.2.1 El Autotransporte de Carga Federal en el Estado de Veracruz

En el censo del año de 1999 (INEGI, 1999), el estado de Veracruz contaba en 1998 con 25,098 camiones ligeros y pesados los cuales corresponden 3,684 al servicio público federal y 21,414 al transporte privado empresarial dedicado a la carga.

El Servicio Público Federal es el servicio de las empresas transportistas con permiso o concesión, otorgados por el gobierno, federal o estatal, de acuerdo al ámbito de operación, por el cual perciben una retribución económica; en cambio, el transporte privado empresarial es el servicio con vehículos propios de las empresas, transportador de sus empleados, productos, mercancías, materias primas, etc., dedicado al apoyo de sus actividades productivas.

En el año 2005, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Instituto Mexicano del Transporte, 2008) registró un movimiento de carga en el estado de Veracruz de 1,666 toneladas diarias en promedio las cuales se desplazaban internamente, hacia Oaxaca y desde Quintana Roo, mostrándose su composición en el cuadro no. 4.

Origen	Destino	Tons. Diarias promedio
Veracruz	Veracruz	1,497
Veracruz	Oaxaca	124
Quintana Roo	Veracruz	45
Total		1,666

Cuadro no. 4: Pares estatales con mayor movimiento de carga carretera
Fuente: Instituto Mexicano del Transporte

1.2.2 La Empresa Transportista.

Según la Cámara Nacional del Autotransporte de Carga (2009), la Dirección General del Autotransporte Federal registró dentro de la estructura empresarial en el año del 2008 a empresas compuestas por hombre-camión (1 a 5 unidades), pequeña empresa (6 a 30 unidades), mediana empresa (31 a 100) y empresa grande (mayores a 100 unidades), estructura compuesta por un total de 501,538 unidades de las cuales el 86.9% (435,549 unidades) estaban registradas como carga general y el 13.1% restante como carga especializada (cuadro no. 5). La estructura estaba formada principalmente por transportistas denominados “hombre-camión” (83.5%) y pequeños transportistas (14.3%) los cuales poseían aproximadamente el 61.1% de las unidades.

Tipo de empresa	Estrato en unidades	No. de empresas	%	No. de unidades	%
Hombre-camión	1 a 5	81,077	83.5	150,233	30.0
Pequeña	6 a 30	13,891	14.3	155,806	31.1
Mediana	31 a 100	1,668	1.7	85,197	17.0
Grande	más de 100	463	0.5	110,302	22.0
Total		97,099	100.0	501,538	100.0

Cuadro no. 5: Estructura empresarial del autotransporte de carga.
Fuente: Estadística básica del autotransporte federal 2008, DGAF

La empresa transportista requiere de tomar varias decisiones las cuales se originan en la selección de los viajes de transportación de carga al considerar a los usuarios que demandan los servicios

según sus necesidades de transportación de carga, siendo la asignación de los viajes una de las decisiones consistente en la designación de los vehículos automotores y la unidad de arrastre acorde a la carga seleccionada. Una segunda decisión corresponde a proporcionar los recursos humanos necesarios para operar los vehículos de transportación de carga. La tercera decisión, con la finalidad de minimizar el costo y lograr mayor rendimiento en un artículo importante en lo que al costo se refiere, consiste en cubrir los requerimientos de neumáticos seleccionando al mejor proveedor en costo y eficiencia.

La adquisición de nuevas unidades es otra decisión que responde a la necesidad de vehículos tanto automotores como de arrastre necesarios para el cumplimiento de una mayor cantidad de servicios.

1.3 Hipótesis

Un modelo para la toma de decisiones múltiple ayudará a las empresas transportistas a gestionar adecuadamente sus recursos con el objetivo de maximizar sus utilidades.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General:

Desarrollar un modelo de decisión para empresas transportistas el cual robustezca la toma de decisiones múltiples que resuelva los problemas de la asignación de viajes, la compra de neumáticos, la adquisición de nuevas unidades y la selección de operadores con la finalidad de mejorar el servicio al cliente y maximizar la utilidad.

1.4.2 Objetivos Específicos:

1. Optimizar un modelo matemático para la selección de los viajes de carga a través de un Algoritmo Genético con el objetivo de maximizar las utilidades de la empresa.
2. Desarrollar un modelo de Simulación de Monte Carlo para la selección de proveedores de llantas considerando el precio unitario de las llantas y su cambio, la marca, el costo de oportunidad, el costo del servicio de alineación y balanceo y las válvulas, desempeño esperado de las llantas, disponibilidad en días para su entrega, la disponibilidad en días con el objetivo de mejorar la relación costo-beneficio, así como la eficiencia en el servicio.
3. Optimizar un modelo matemático para la adquisición de unidades para la transportación de la carga a través de un Algoritmo Genético con el cual se decida la mejor opción de inversión valuando el beneficio correspondiente a través del cálculo del valor presente neto de la inversión y mejorar el nivel de servicio al cliente
4. Desarrollar un modelo de Simulación Monte Carlo para la selección de operadores el cual considere características como edad, experiencia, habilidad en el manejo, prueba psicológica, estado civil, estudios terminados, referencias personales, antecedentes

penales, deudas en el buró de crédito y licencia de manejo con el objetivo de dar al cliente un servicio oportuno y confiable.

1.4.3 Preguntas de Investigación.

Del planteamiento expuesto anteriormente, surgen varias interrogantes relacionadas con cada uno de los objetivos y se enlistan a continuación:

- Optimización de la selección de viajes:
 - ¿Cuántas unidades se tienen disponibles y en buen estado para realizar el servicio de la autotransportación de carga?
 - ¿Cuál es la capacidad y el tipo de unidades de arrastre con que se cuenta?
 - ¿Cuáles son los costos y gastos en que se incurren para mantener en buen estado las unidades para su disponibilidad y durante la travesía del servicio?
 - ¿Cuál es la distancia y la carga del servicio de autotransportación?
 - ¿Cuál es el riesgo que se tiene por fallas o accidentes?
 - ¿Qué viajes maximizan la utilidad?
- Simulación de la adquisición de neumáticos:
 - ¿Cuántos neumáticos son requeridos?
 - ¿Cuál es el costo total de la adquisición y cambio de las llantas?
 - ¿Se cuenta con la disponibilidad financiera?
 - ¿Pueden ser adquiridos a crédito?
 - ¿Cuáles el desempeño del producto?
 - ¿Cuál es la disponibilidad del producto?
- La inversión en las unidades:
 - ¿Cuántas y de qué tipo son las unidades a adquirir?
 - ¿Cuáles son las características físicas?
 - ¿Cuál es el costo total de la adquisición?
 - ¿Se cuenta con la disponibilidad financiera?
 - ¿Cuál es la forma de pago?
 - ¿Cuáles son los costos en que pueden incurrirse para que operen las unidades adquiridas en óptimas condiciones físicas?
 - ¿Cuál es el valor presente neto de la unidad a adquirir?
- Simulación del proceso de selección de los operadores del tractocamión
 - ¿Cuáles son las características que debe tener el operador para su selección?

1.5 Justificación de la Investigación.

Dada la necesidad humana de adquirir bienes provenientes de localidades distintas a su ubicación, se requiere de la transportación para el desplazamiento de la carga correspondiente siendo necesario una gestión logística la cual responda a la demanda del autotransporte de carga con la entrega oportuna y la preservación del producto durante el traslado y, por otro lado, como respuesta a dichas demandas, la empresa transportista considere tales necesidades y ajuste los

recursos propios de tal forma que maximice sus utilidades con el mínimo costo y mínimo de riesgos.

Para realizar tal respuesta a la oferta de transportación, la empresa requiere de obtener utilidades lo cual implica un ingreso que cubra el gasto o costo causado por el servicio así como rinda una utilidad la cual permita realizar inversiones.

Para ofertar el servicio a usuarios, la empresa asigna las unidades en buen estado y los operadores más eficaces y, para enfrentar su demanda, requiere de hacer gastos de mantenimiento donde sobresale en importancia por su costo, la adquisición de llantas así como el invertir en nuevas unidades, tanto tractivas como de arrastre, por lo cual se considera necesario representar el sistema real de la empresa transportadora y experimentar con este y así entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias limitadas por un criterio o un conjunto de criterios para la operación del sistema. Tal representación, requiere de la descripción de las variables y los parámetros, tanto determinísticos como estocásticos, por lo cual la simulación de Monte Carlo se considera la mejor técnica.

La complejidad de las decisiones requiere de un proceso con mejor información con el cual se optimice los resultados. En un problema de decisiones múltiples, se busca identificar la mejor o las mejores decisiones considerando simultáneamente múltiples criterios los cuales pueden estar en conflicto al incrementar la satisfacción de uno y disminuir la satisfacción de otro. Bajo ciertas condiciones, la incertidumbre puede no enfrentarse correctamente dentro de un ambiente económico pudiendo perder el objetivo por las deficiencias de la información sobre el entorno, o Gradualismo. El reflejo de tales deficiencias, dada la asignación de probabilidades a eventos no comunes con pocos precedentes históricos, motiva a considerar opciones alternativas que no requieran el conocimiento de las probabilidades asociadas a todos los posibles escenarios, conocidas como políticas robustas, las cuales permitan evitar grandes pérdidas en todos los escenarios relevantes, independientemente de su probabilidad (Brainard, 1967).

Para robustecer los resultados de la simulación de Monte Carlo, una vez evaluados los parámetros de costos con mayor influencia y establecidas las restricciones o limitaciones de los recursos, se aplica la optimización evolutiva.

1.6 Metodología.

Para desarrollar el modelo de decisión múltiple, se utilizaron dos principales métodos los cuales consistieron, el primero de ellos, en la recopilación y revisión de la bibliografía e información, y el segundo corresponde al diseño de la representación descriptiva y preceptiva a través de un modelo con el cual se busca explicar, duplicar y predecir el comportamiento del sistema y, finalmente, se busca la validación del modelo. La primera etapa, recopilación y revisión bibliográfica y de información, busca conocer sobre la problemática actual de la información así como las investigaciones y los trabajos relacionados con la finalidad de establecer las aportaciones sobre la problemática del ruteo vehicular y se refieren en el capítulo 2.

En la segunda etapa, se busca robustecer la toma de decisiones a través de un modelo que represente el sistema de la empresa transportista resaltando los procesos de asignación de viajes, la compra de llantas y adquisición de nuevas unidades y la selección de los operadores. En la tercera etapa, validación del modelo, se resuelve el caso de una empresa transportista de la región de Orizaba.

Durante la segunda etapa, es importante representar el sistema de transporte propuesto bajo el enfoque de una toma de decisiones multicriterio. Por cada toma de decisiones -asignación de viajes, la compra de llantas, adquisición de nuevas unidades y la selección de los operadores- se propone el diseño de un modelo reusable el cual, a su vez, comprende la delineación de un diagrama de influencia y un metamodelo por cada decisión del sistema.

A continuación se explica el modelo propuesto de cada una de las tomas de decisiones:

1. Robustecer la toma de decisiones del modelo reusable de la asignación de viajes implica representar el sistema a través de un modelo matemático con el cual se definirán las variables y los parámetros inciertos que influyen en el sistema así como las restricciones limitantes del modelo matemático para la asignación de viajes de autotransportación de carga optimizado por un Algoritmo Genético.

Las variables consideradas en la asignación de viajes son, por ejemplo los kilómetros a recorrer, los viajes de carga a realizar, las unidades de transportación, etc., y los parámetros o valores numéricos descriptores, son la demanda, el combustible, los accidentes, etc., a los cuales se les aplicaran distribuciones probabilísticas (figura no. 1).

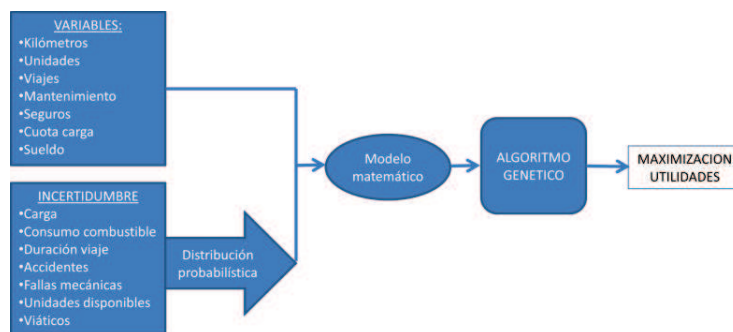


Figura no. 1: Sistema de transporte para la asignación de viajes

2. La simulación de Monte Carlo será utilizada en la modelación de la adquisición de neumáticos con la cual pueda evaluarse la compra a los proveedores donde el costo total de la compra y el cambio de las llantas depende directamente de la cantidad de llantas, su precio unitario, el desempeño esperado de las mismas, la disponibilidad en días de la adquisición y los precios unitarios de las válvulas, la alineación y el balanceo (figura no. 2).

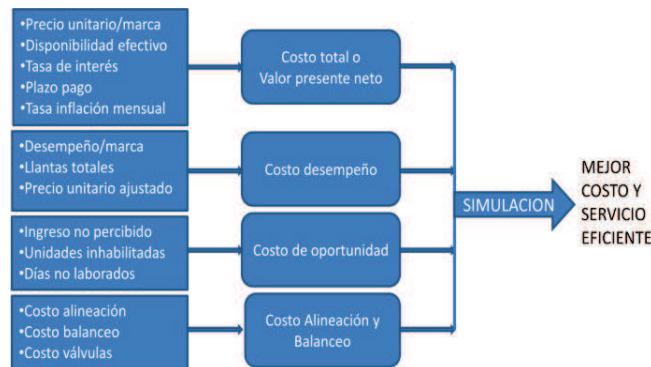


Figura no. 2: Sistema para la evaluación de proveedores de llantas

3. El modelo matemático propuesto que representa la adquisición de nuevas unidades a través de las variables que intervienen en el sistema tales como: cantidad de tractocamiones, semirremolques y remolques sugeridos para su compra, precio de unidad, etc. En este sistema existe la ocurrencia de parámetros inciertos como son: la falla en las unidades, demora en la entrega, autorización del crédito, etc., los cuales provocan que la evaluación de la compra de unidades sea riesgosa en el aspecto de inversión económica (figura no. 3)

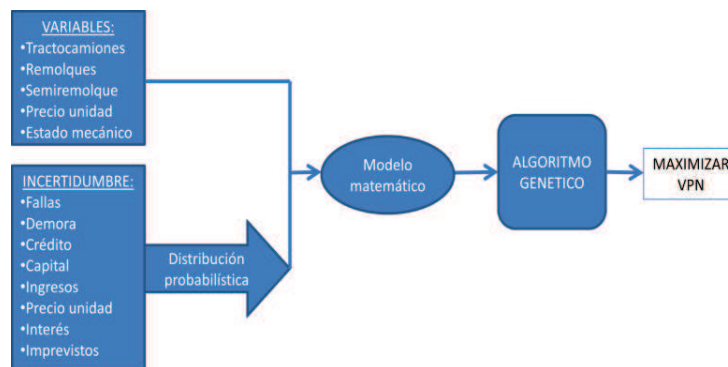


Figura no. 3: Sistema para la evaluación de compra de nuevas unidades

4. Una de las decisiones a tomar dentro del sistema de transporte es la selección de operadores, la cual se realiza en base a empirismo y a puntos de vista subjetivos de la gerencia de la empresa. Por tal motivo se propone modelar este sistema considerando diez (10) factores de tipo cuantitativo y cualitativo para seleccionar al personal. Para solucionar este modelo, se propone la simulación de Monte Carlo (ver figura no. 4).

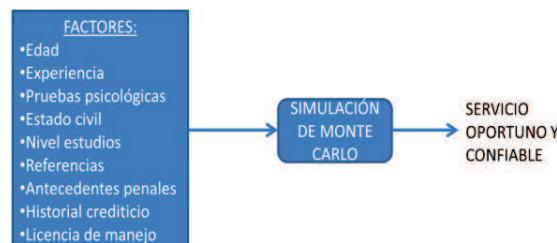


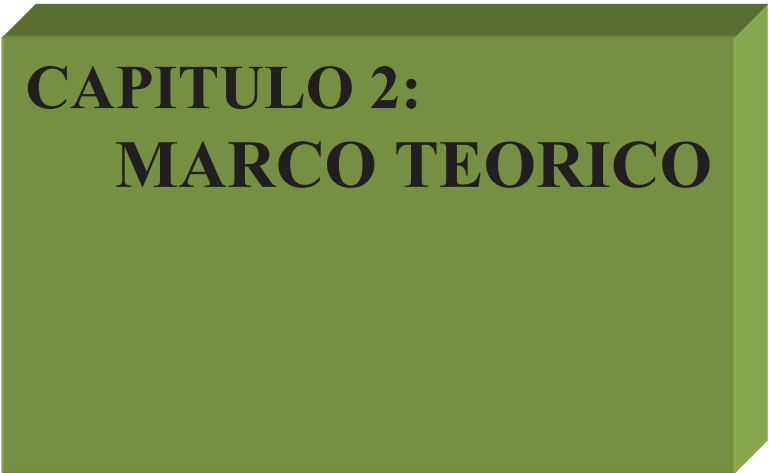
Figura no. 4: Sistema para la selección de operadores

1.7 Alcances y Limitaciones de la Investigación.

Alcance.- Dado el impacto económico de la transportación de carga, esta investigación busca contribuir con un modelo que represente el sistema para que las compañías transportistas dispongan de una ayuda en la toma de decisiones múltiples en la mejor selección de los viajes de carga que optimicen sus recursos, gestionen la compra de unidades y neumáticos y contraten a los operadores más eficientes.

Limitaciones.- El caso de estudio valida el modelo a una pequeña empresa transportista cuyos recursos son limitados tanto en cantidad como en disponibilidad.

Con la estructura propuesta, se pretende representar con simulación de Monte Carlo y un modelo matemático optimizado con Algoritmo Genético los problemas logísticos planteados para las empresas transportistas pequeñas, con predicción y optimización de las utilidades, expresadas a través del ingreso y costo, la adquisición de neumáticos y de nuevas unidades así como la selección de los operadores.



CAPITULO 2: MARCO TEORICO

Capítulo 2 Marco teórico.

La problemática del transporte de carga, actividad de la gestión logística a través de la cual pueden relacionarse a los distintos actores de una cadena de suministro, se ha tratado abundantemente como un problema de selección de rutas en el cual se han considerado factores críticos de utilidades, costos, y valor presente neto al evaluar las adquisiciones de los automotores, que pueden estar en conflicto dentro de diversos escenarios como son la disponibilidad de tractocamiones y vehículos de arrastre, la consideración de factores varios como el consumo de combustible, sueldos, etc., y las decisiones que involucren una inversión significativa del capital.

En la literatura correspondiente analizada, se observa un interés creciente y la aplicación de tecnología moderna en un gran número de compañías transportistas donde las principales aplicaciones de modelos han manejado el problema de ruteo de los vehículos o VRP, por sus siglas en inglés, y métodos de ahorro con técnicas de programación lineal y heurísticas, entre otras, las cuales proyectan modelos poco realistas e inflexibles. También es común que los administradores transportistas se guíen por su experiencia o la existencia probada de sistemas de solución surgidos por sus logros. Algunos de los factores influyentes en el proceso de transformación son proyectados determinísticamente sin considerar a los agentes de cambios, como son la fluctuación de la demanda, la disponibilidad de los recursos, etc. (Lafarja et al, 2007).

La transportación de carga es una actividad recurrente y compleja de la gestión logística a través de la cual puede establecerse la relación entre los distintos actores de una cadena de suministro incluyéndose un inciso donde se relacionan la logística y la cadena de suministro con el fin de identificar la problemática del desplazamiento de los productos.

2.1 Logística y Cadena de Suministros.

Al definir la cadena de suministro diversos autores la integran con diversas funciones tales como aprovisionamiento, producción, logística, etc. Así, por ejemplo, Ganesham y Harrison (1995) la toman como una red de instalaciones y distribución, Lambert, Stock y Ellram (1998) la consideran una alineación de las empresas para llevar productos o servicios al mercado, Gaither y Frazier (2000) la mencionan como un flujo de materiales a través de diferentes organizaciones, Ghiani, Laporte y Musmanno (2003) la definen como un sistema lógico de producción-distribución, Küttner (2009) indica que es una estructura compuesta por una red que convierte la materia prima en producto terminado así como su distribución.

Chopra y Meindl (2008) al analizar la cadena de suministro se refieren a esta como una formación de las partes involucradas directa o indirectamente en la satisfacción de una solicitud del cliente teniendo como objetivo maximizar el valor total generado el cual es, a su vez, la diferencia entre el producto final para el cliente y los costos en que incurre la cadena de suministro; para esto se requieren acciones o estrategias referidas a la obtención de las materias

primas, la transportación de insumos, la fabricación u operación para proporcionar el servicio y la distribución del producto de manera interna o bajo subcontrataciones.

Los distintos eslabones de la cadena de suministro requieren de ajustes estratégicos los cuales sincronicen a las estrategias de la cadena de suministro y competitiva de la empresa operable a través del equilibrio entre la capacidad de respuesta y la eficiencia recurriéndose a directrices lógicas e interfuncionales como las instalaciones, el inventario, la transportación, la información, el aprovisionamiento y la fijación de precios. Específicamente, el esfuerzo logístico realizado con la transportación consiste en mover los insumos a través de los distintos eslabones de la cadena de suministro reflejándose en la capacidad de respuesta o rapidez en la transportación del insumo o producto y en la eficiencia en el costo de transportación lo cual es conveniente equilibrar (Chopra y Meindl, 2008).

2.2 Logística

En su glosario, el Consejo de Profesionales de la Administración de la Cadena de Suministro (2010) considera a la logística como el proceso de planeación, ejecución y control para el eficiente y eficaz transporte y almacenamiento de mercancías y servicios, e información vinculada desde el punto de origen hasta el punto de destino según los requisitos del cliente.

Bowersox, Closs y Cooper (2007) marcan al costo, la velocidad y la regularidad como los factores fundamentales del sistema logístico y los definen de la siguiente forma:

- 1) El costo del transporte es el pago por el envío del producto entre dos lugares geográficos cuyos costos se relacionan con mantener el inventario en tránsito;
- 2) La velocidad del transporte es el tiempo requerido para concluir un determinado movimiento;
- 3) La regularidad del transporte es la variación en el tiempo requerido para realizar un movimiento dado y refleja la confiabilidad en el transporte teniendo como riesgos al retraso o incumplimiento y la exposición a material peligroso en la entrega de la carga.

Una empresa dedicada a la transportación de carga en general, como parte del sistema logístico, tiene las decisiones principales de la selección del viaje a realizar y la asignación de la unidad y el operador, el diseño y la programación de la ruta.

La selección del viaje y asignación de la unidad y el operador, se da en función de la tarifa fijada, el tipo de carga a transportar, el tiempo en tránsito, el volumen y peso de la carga y la disponibilidad de las unidades y operadores.

En el diseño de las rutas se considera a la distancia y las cantidades de los puntos de origen y destino.

De acuerdo con Ballou (2004) la programación y el diseño de las rutas presentan limitaciones como:

- Recolección y entrega;

- Uso de varios vehículos con diferentes limitaciones de capacidad;
- Restricciones de tiempo en la conducción;
- Recolección y entrega en determinados horarios;
- Recolección una vez entregada la carga; y
- Pausas programadas durante la conducción.

2.3 Análisis de decisiones

La toma de decisiones es un proceso a través del cual se elige entre varias alternativas la mejor opción para el logro de uno o varios objetivos.

Este proceso puede ser cualitativo o cuantitativo. El primero se basa sobre el juicio y la intuición del decisor y, el cuantitativo, se fundamenta sobre bases cuantitativas o datos asociados al problema desarrollándose expresiones matemáticas representativas de objetivos, restricciones y otras relaciones existentes en el problema (Anderson, Sweeney y Williams, 2003).

Dentro de la toma de decisiones existen problemas con un solo criterio o *problema de decisión de criterio único* y casos de un problema con más de un criterio denominados *problemas de criterios múltiples o problemas de decisión multicriterio*.

Tomar una decisión se relaciona con el proceso de elegir la solución para un problema siempre y cuando existan al menos dos soluciones. Dicho proceso se inicia con la construcción, observación y planteamiento del problema, en el segundo paso se realiza la representación del problema o modelación de forma que puedan ser generadas las alternativas de solución; se prueban y evalúan las soluciones y, aceptando la mejor de las soluciones, se implementa y evalúa.

La mejor elección en una decisión depende de la calidad de los datos originando la toma de decisiones bajo certidumbre, riesgo o incertidumbre, según sea el grado de calidad.

En las decisiones bajo certidumbre, los datos son conocidos de manera determinista. En las decisiones bajo riesgo, los datos se describen con distribuciones de probabilidad y en las decisiones bajo incertidumbre los datos no pueden ser ponderables desconociéndose su importancia en el proceso de decisión (Taha, 2004).

El análisis de decisiones es la herramienta técnica de la toma de decisiones que enlaza aspectos objetivos con aspectos subjetivos con lo cual se pueden conjuntar objetivos, posibilidades y preferencias de los decisores (Clemen, 1996).

Esta metodología orienta al decisor en la solución sistemática de problemas complejos robusteciendo la calidad de las decisiones resultantes al permitir valorar la eficacia de una decisión midiendo la satisfacción del objetivo u objetivos especificados por el decisor mediante los posibles resultados a obtener una vez cuantificada la incertidumbre.

Un buen análisis de decisiones implica un proceso claramente estructurado, el cual se describe a continuación (Clemen, 1996):

- a) Identificación de la situación de decisión consistente en definir el problema y especificar los objetivos a lograr.
- b) Sobre la base de un estudio detallado de los objetivos establecidos, se identifican las alternativas de solución del problema.
- c) Los siguientes dos pasos engloban la modelación y la solución del problema los cuales requieren de visión para la separación de los elementos del problema y, en consecuencia, lograr una mejor comprensión de la situación de decisión para, así, modelar la estructura, las incertidumbres y las preferencias, sin perder de vista sus interacciones. Analizada la modelación, puede ser decidida la alternativa según las preferencias del decisor.
- d) A partir de la elección, se realiza un análisis de sensibilidad a través del cual pueden efectuarse modificaciones en uno o más aspectos del modelo para así, revisar su influencia la cual motivara un nuevo planteamiento de la situación de decisión y los objetivos especificados, a las alternativas identificadas, o bien, a la estructuración del modelo, convirtiéndolo de esta manera en un modelo iterativo. En caso contrario, se puede ejecutar el último paso del proceso.
- e) Implementar la alternativa elegida

Existen diversos términos con una connotación especial en el análisis de decisiones los cuales son las Preferencias, Decisiones, Alternativas, Eventos inciertos, Resultados, Incertidumbre y prueba de calidad, mismos que a continuación se definen (Ley, 2001).

1) Preferencias

Las preferencias reflejan los intereses del decisor, lo que más valora por lo cual el análisis de decisiones es un proyecto personalizado necesitado de un trabajo de reflexión para los involucrados; son el indicativo de la viabilidad de las alternativas definidas pues a través de ellas establece la satisfacción de cada posible resultado, determinando su concordancia con los deseos. Habitualmente se expresan como funciones matemáticas las cuales son evaluadas.

2) Decisiones

Las decisiones son las oportunidades del decisor para la libre selección de los cursos de acción adecuados que permitan alcanzar los objetivos satisfactorios de sus requerimientos. Una decisión debe contar por lo mínimo con dos alternativas o cursos de acción.

3) Alternativas

Las alternativas son los cursos de acción al alcance del decisor, los cuales puede controlar, considerando lo que pueda hacer de manera objetiva y realista. Dado que componen el universo de lo factible, son mutuamente excluyentes.

4) Eventos inciertos

Los eventos inciertos son los eventos que afectan los objetivos. Estos elementos se encuentran fuera del control del decisor pues se desconocen los posibles resultados que componen el evento incierto. Para su consideración en la evaluación de la decisión, es necesario atribuirle valores

probabilísticos a cada uno de los posibles sucesos o resultados que lo constituye en función de la información recolectada al momento del análisis.

El evento incierto debe componerse con los sucesos, por lo menos, de tipo excluyente y colectivamente exhaustos.

5) Resultados

Los resultados son los productos obtenidos al combinar las alternativas con cada uno de los sucesos integrantes de los eventos inciertos correspondientes, los cuales son apreciados de manera diferente por el decisor según las preferencias de éste. Aunque pueda obtenerse un importante número de combinaciones al término del análisis, se consideran como resultados a aquellos sobre los que el decisor muestra su preferencia.

6) Incertidumbre

Bajo el enfoque del análisis de decisiones, la incertidumbre puede ser definida como el conocimiento parcial referente a un evento incierto; específicamente, del suceso que compone el evento a presentar de forma que la información recolectada es acerca de los sucesos que pueden acontecer.

7) Prueba de claridad

La prueba de claridad es el proceso por el cual se logra definir de forma detallada y precisa los componentes del análisis de decisiones evitando confusión en la comprensión y la asignación de probabilidades (Howard, 1988)

2.3.1 Teoría de Decisiones Multicriterio.

La toma de decisiones con casos de un problema con más de un criterio o problemas de decisión multicriterio, consideran los siguientes conceptos (Rodríguez, 2000):

- Atributos: valores correspondientes a la realidad y medidos independientemente, se expresan como una función matemática de las variables de decisión ($f(x)$);
- Objetivos: direcciones de los atributos pudiendo ser la maximización ($\text{Max } f(x)$) o la minimización ($\text{Min } f(x)$);
- Nivel de aspiración: nivel aceptable de logro para un atributo;
- Metas: resultan de la combinación del atributo con el nivel de aspiración y se representan como desigualdades del tipo $f(x) \geq, \leq, = t$ donde el parámetro t es el nivel de aspiración;
- Criterios: atributos, objetivos o metas relevantes en el problema de toma de decisiones.

2.3.2 Modelación en el análisis de decisiones

Decidir es el proceso en el que se selecciona una alternativa en un abanico de opciones para alcanzar un objetivo bajo ciertos criterios por lo cual requiere un análisis de decisiones útil ante problemas con varias alternativas de decisión y un conjunto de eventos futuros inciertos o muy riesgosos los cuales, al ser representados, pueden ser analizados.

El análisis de decisiones involucra tantos componentes de tal forma que el proceso puede ser complejo y confuso. Para facilitar la comprensión, se elaboran modelos los cuales permiten una mayor comprensión de la situación de decisión.

Los modelos son representaciones de objetos, situaciones reales o sistemas. La modelación relacionada con sistemas de representaciones integra: símbolos, signos, figuras, gráficas y construcciones geométricas los cuales expresan el concepto y suscriben en sí mismos el modelo con el cual es posible interpretar y predecir los comportamientos de los fenómenos físicos.

De acuerdo a Prawda (2004), los modelos apoyan la resolución de problemas determinísticos, con riesgo y bajo incertidumbre. En los problemas determinísticos se presentan más de dos alternativas con una sola solución; los problemas con riesgo también cuentan con más de dos alternativas y varias soluciones las cuales pueden ocurrir con cierta probabilidad, conocida o estimable. Los problemas bajo incertidumbre, tienen varias alternativas y soluciones pero la distribución probabilística de las soluciones es ignorada.

Los dos principales clases de modelos se denominan descriptivos o normativos (Davis, McKeown, 1986). Los modelos descriptivos representan una relación y no indican curso de acción siendo útiles en el pronóstico de la conducta del sistema; también es conocido como modelo de simulación pues buscan predecir lo que sucede en una situación.

El modelo normativo o de optimización, señala el curso de acción para el logro de un objetivo determinando el punto exacto para resolver alguna problemática administrativa, de producción, o cualquier otra situación. Cuando la optimización es entera o no lineal, combinada, se refiere a modelos matemáticos poco predecibles, pero que pueden acoplarse a alguna alternativa existente y aproximada en su cuantificación. Este tipo de modelos requiere comparar diversas condiciones, casos o posibles valores de un parámetro y observar al más óptimo, según el criterio elegido.

Un tercer modelo, el modelo de control permite establecer con precisión la situación de una organización, investigación, área de operación, etc., apoyándose en la decisión de nuevas medidas, variables o parámetros a ajustar para lograr un resultado o estado concreto del sistema modelado.

Las tres principales características en un modelo de optimización son la función objetivo, las variables y parámetros, y las restricciones. La función objetivo es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema a optimizar (maximización o minimización). Las variables representan las decisiones que pueden afectar el valor de la función objetivo pudiendo ser independientes o principales o de control y variables dependientes o auxiliares o de estado; los parámetros son los valores que describen la relación entre las variables de decisión. Las restricciones representan al conjunto de relaciones (expresadas por ecuaciones o inecuaciones) que ciertas variables deben satisfacer. Resolver un problema de optimización es encontrar el valor de las variables que hagan óptima la función objetivo satisfaciendo el conjunto de restricciones.

El modelaje en el análisis de decisiones busca manifestar las situaciones difíciles a las cuales se enfrentan las decisiones, para poder implementar acciones que maximicen la probabilidad de lograr los objetivos. La manifestación puede recurrir al uso de modelos gráficos que facilitan la visualización de situaciones complejas sin embargo, el análisis de decisiones describe la situación mediante un modelo matemático el cual vincule las decisiones, alternativas, eventos inciertos, resultados y preferencias.

Las decisiones pueden tener elementos comunes de tal forma que un modelo anterior de decisión pueda ser un punto de partida en el diseño de un nuevo modelo. Una forma de máximo aprovechamiento máximo de los ahorros de costo y tiempo es a través del reuso de un modelo, lo cual requiere de un modelo con mayor nivel de generalidad que permitirá su reuso.

2.3.2.1 Modelo reusable

Un modelo reusable debe ser lo suficientemente flexible para permitir abordar nuevos problemas sin necesidad de realizar todo el proceso de modelación. Tal flexibilidad se obtiene usando dos tipos de modelos que al combinarse proporcionen completitud y eficiencia; estos modelos son el modelo maestro y el metamodelo de decisión.

El modelo maestro de decisión incluye todas las decisiones, alternativas, eventos inciertos, sucesos, resultados, y preferencias, así como las relaciones de relevancia, influencia e impacto (estructura de la situación) existentes en cualquier modelo de decisiones y un metamodelo de decisión que indica las condiciones en las cuales se activan los elementos del modelo maestro en situaciones particulares.

2.3.2.1.1 El modelo maestro

La construcción del modelo maestro debe cumplir con los requisitos de representar la estructura común de las situaciones de decisión e incluir los elementos particulares correspondientes a todos los casos en los cuales puedan preverse. La estructura de la situación es la manera cómo se relacionan los elementos en el problema de la decisión. Incluir todos los elementos dentro esta, requiere explorar las oportunidades de decisiones, las alternativas disponibles, los eventos inciertos relevantes, la naturaleza de los resultados, los criterios de valoración que expresen las preferencias del decisor, y las relaciones de relevancia, influencia e impacto.

El modelo maestro contiene objetivos, valores y funciones de preferencia; decisiones, alternativas e influencias; eventos inciertos, sucesos y relevancia; resultados, impactos y parámetros.

1) Objetivos, valores y funciones de preferencia

El primer aspecto en la construcción del modelo maestro es fijar el objetivo para la situación de interés lo cual originará la identificación de alternativas, incertidumbres y resultados relevantes. La fijación de objetivos y determinación de su importancia relativa deben ser elaborados con el decisor para identificar los valores. La valoración de los resultados debe hacerse en función del objetivo fundamental (o los objetivos).

En el modelo maestro se consideran objetivos y valores apropiados para toda la familia de decisiones los cuales deben ser más amplios que los objetivos de las decisiones particulares.

Las funciones de preferencia son expresiones matemáticas representantes de los objetivos y valores las cuales ayudan a valorar los resultados de la situación de decisión. La valoración homogénea de los resultados se logra convirtiendo los resultados expresados en diferentes unidades de medición (dinero, tiempo, salud, etc.) a una unidad única de valoración.

Las funciones de preferencia deben ser amplias y estables para ser utilizadas en situaciones futuras. Si se determinan cambios en la situación los cuales generen cambios en su función de preferencias, se puede definir un conjunto de funciones de preferencia como parte del modelo maestro.

2) Decisiones, alternativas e influencias

Es recomendable incluir todas las oportunidades de decisión y alternativas para cada situación particular de decisión estableciendo la secuencia e indicando cuándo puedan diferir. La modelación de las alternativas, podrán requerir de modelos separados (disjuntos) de decisión.

La influencia de cada alternativa sobre los eventos inciertos del modelo puede establecerse con la modelación de diagramas de influencia con representaciones como:

- Una flecha de influencia entre el nodo de decisión y el nodo del evento incierto, si al tomar una de las alternativas se modifica la distribución de probabilidad del evento incierto.
- Una flecha de impacto entre el nodo de decisión y el nodo de valor, si una o más de las alternativas tiene un costo u otro impacto en el nodo de valor

Asimismo, requiere distinguir las decisiones y alternativas centrales al problema de las decisiones complementarias o accesorias.

3) Eventos inciertos, sucesos y relevancia

La descripción de los eventos inciertos se basa en la definición de los sucesos y el establecimiento de la distribución de probabilidad para cada evento; si no es práctica la enumeración de dichos eventos, pueden añadirse eventos genéricos que indiquen la existencia de otros eventos inciertos relevantes.

La relevancia debe incluirse como un punto de referencia para el metamodelo y, además, especificar las circunstancias en que se elimine. Aunque la relevancia no implica causalidad, la causalidad si implica relevancia. Por lo tanto, al tenerse una relación causal en la situación de decisión se puede indicar una relación de relevancia válida en todos los casos particulares.

4) Resultados, impactos y parámetros

Los resultados, impactos y parámetros se cuantifican sólo como referencia pues los valores deben ser actualizados para cada caso. Su especificación en el modelo maestro ayudará a que los valores

pasen la prueba de claridad en cada caso particular. Así mismo, la presencia de estos elementos en el modelo maestro permite hacer referencia a ellos en el metamodelo.

El modelo maestro puede representarse con un diagrama de árbol (o árbol de decisiones) o un diagrama de influencia. Howard y Matheson (2005) comentan que el poder de representación de los diagramas de influencia es superior pues permiten especificar la relación, la función y la cantidad tanto en casos determinísticos como probabilísticos, características que no son observables en los árboles de decisión.

En los casos determinísticos, la relación significa que una variable puede depender de manera general de otras; al nivel de función, se especifica la relación. En el nivel cantidad, se especifican los valores numéricos correspondientes.

Para los casos probabilísticos, el nivel de relación implica que una variable sea probabilísticamente dependiente de otras variables e independiente de otras. Al nivel de función, la distribución probabilística de cada variable se asigna condicionadamente sobre valores de las variables de las cuales depende. Al nivel de cantidad, las distribuciones incondicionales se asignan a todas las variables que no dependan de otra variable y por lo tanto, se determinan todas las probabilidades conjuntas y marginales.

El árbol de decisiones representa gráficamente problemas de decisión en varias etapas enfocándose en la interrelación entre evento y decisiones en el tiempo. El gráfico es claro y explícito pues permite observar la simetría o asimetría de la situación además de presentar los datos y cálculos. Al existir pocos elementos en la situación, los árboles de decisión son una opción atractiva para representar el modelo maestro pues las alternativas, sucesos y resultados pueden ser desplegados sin embargo, oculta las relaciones de relevancia, influencia e impacto entre las variables.

2.3.2.1.1.1 Diagrama de influencia

Los diagramas de influencia muestran la relevancia (dependencia probabilística) entre las variables inciertas y las decisiones.

Para Howard y Matheson (2005) los diagramas de flujo emplean los nodos de decisión y de probabilidad los cuales pueden tener influencias informativas y condicionamiento entre ellos. La influencia informativa, se representa con flechas dirigidas hacia un nodo de decisión mostrando las variables que deben ser conocidas por el decisor en la toma de decisiones, en cambio, las influencias de condicionamiento, representadas con flechas hacia los nudos probabilísticos, muestran las variables sobre las cuales la asignación de probabilidad condicionarán los nodos probabilísticos.

Quiroz y Ley (2002) recurren a la siguiente simbología en la representación a través de los diagramas de influencia:

- Nodos de decisión: en este nodo, la influencia de la información representa un ordenamiento básico de la relación causa/efecto; es representada con una figura en forma de cuadro (fig. No. 5)



Figura no. 5 : Nodo de decisión

- Nodos probabilísticos: en estos nodos, la influencia condicional puede no corresponder a la noción de causalidad y ser modificada por la aplicación de las leyes de probabilidad. Se representan con figuras con forma de óvalo (fig. no. 6)



Figura no. 6: Nodo probabilístico o de incertidumbre

- Nodos determinísticos: el valor de estos nodos dependerán directamente de las variables y/o decisiones que los condicionan; son representados con rectángulos con esquinas redondeadas (fig. no. 7)



Figura no. 7: Nodo determinístico

- Nodos evocativos: estos nodos, permiten tener en cuenta los factores que influyen en la probabilidad que se desea asignar. Se representan con óvalos con líneas punteadas (fig. no. 8).



Figura no. 8: Nodo evocativo

Dentro de los diagramas de influencia, las relaciones entre los componentes pueden ser de información, relevancia, influencia, e impacto, y se representan con flechas conectoras entre los nodos. Las flechas hacia un nodo de decisión, indican la disponibilidad de la información contenida en el nodo origen al tomar la decisión. Si el nodo origen también es de decisión, se indica que esa otra decisión fue tomada antes y la alternativa fue seleccionada. Si el nodo origen es de incertidumbre, se indica que al momento de tomar la decisión ya se conoce el suceso ocurrido.

Las flechas hacia un nodo probabilístico representan relevancia si el nodo origen es también uno probabilístico y representan influencia si proviene de un nodo de decisión. En ambos casos, la relación indica que la distribución de probabilidad del nodo destino es modificada (condicionada) por los sucesos o alternativas de los nodos origen. Finalmente, las flechas dirigidas al nodo de valor indican la relación de impacto la cual se da con cada nodo probabilístico o de decisión cuyos sucesos o alternativas, respectivamente, afectan los resultado; estos tipos de relación, se representan en las figura no. 9. (Ley y Quiroz, 2002; Howard, Matheson, Miley, *et al.* 2006).

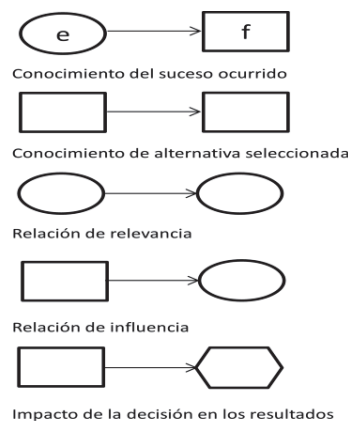


Figura no. 9: Tipos de relaciones

El diagrama de influencia procura un modelo compacto el cual muestra claramente la relevancia, la influencia y el impacto, no así las alternativas, los sucesos y los resultados de forma detallada. Además, las situaciones asimétricas se cubren por la simetría de este tipo de representación ocultando así parte de la información sobre la estructura del problema. Como la información sobre la estructura de la situación es necesaria para seguir las instrucciones del metamodelo, puede ser necesario un mayor grado de detalle en el metamodelo para expresar la asimetría. No obstante, los cambios en la relevancia, la influencia y el impacto, elementos explícitos en el diagrama de influencia, pueden ser mencionados directamente en el metamodelo de forma ventajosa.

2.3.2.1.2 El metamodelo

El metamodelo funcionará como guía para determinar oportunamente la activación de los elementos del modelo maestro de decisión para cada caso particular de la familia de situaciones para la cual se desarrolló.

El metamodelo puede representarse como un diagrama de flujo donde se indiquen los componentes del modelo de decisión a activar una vez cumplidas las condiciones indicadas en cada elemento del diagrama de flujo pudiendo complementarse con instrucciones en caso de modificaciones en el ambiente de decisión; además, el metamodelo debe poder determinar si una situación particular pertenece a la familia de situaciones de decisión y si el objetivo correspondiente es consistente con el expresado en el modelo reusable.

Algunas veces la selección de elementos consiste simplemente en verificar la existencia de ciertas condiciones. En estos casos el metamodelo incluirá una lista o un diagrama de flujo sencillo en el que el usuario va respondiendo preguntas acerca de las características del modelo y el diagrama va indicando los elementos que deben activarse. En otras ocasiones se requiere un procedimiento más elaborado para determinar los elementos a activar.

La primera tarea del metamodelo es identificar la situación particular como un miembro de la familia de situaciones para la cual fue construido el modelo reusable por lo cual, debe contener la especificación donde se distinga a una situación como parte de la familia de aquella que no lo es;

posteriormente, se procede a describir la ayuda del metamodelo para distinguir los elementos del modelo maestro.

Para realizar la distinción, es necesario activar las funciones de preferencia y criterios de selección. La segunda tarea clave del metamodelo es determinar si en la situación particular el propósito general (objetivo) del decisor es el mismo que está planteado en el modelo maestro, siendo necesaria la determinación clara del objetivo general del modelo reusable dentro el metamodelo.

Una vez identificada la pertenencia de la situación particular en el objetivo, el metamodelo permitirá verificar la validez de la función de preferencia dentro del rango de valores presentes para el caso, y ayudará en la selección de la disposición hacia el riesgo adecuada a la situación particular.

Una vez activadas las funciones de preferencia y los criterios, se activarán las decisiones y alternativas; para esto, el metamodelo permitirá determinar la necesidad o posibilidad de las decisiones en el modelo maestro, y cuáles de las alternativas en cada decisión están disponibles.

Con las decisiones y alternativas activadas, se activan los eventos inciertos y sucesos. El metamodelo debe ayudar a determinar los eventos inciertos (incluidos en el modelo maestro) por activar en cada situación particular. Esta última activación puede depender de parámetros económicos o indicadores de la empresa o la organización.

Una vez definida la activación del nodo de incertidumbre, se establecen los sucesos definidos para ese nodo en el modelo maestro que realmente pueden suceder.

La siguiente tarea es determinar las probabilidades para cada suceso activado lo cual puede realizarse.

Identificados los eventos inciertos vigentes junto con los otros elementos definidos por el metamodelo, forman el modelo particular. Los eventos inciertos en este modelo deben ser sujetos a análisis de sensibilidad para determinar a los valores inciertos por representar así como los valores determinísticos.

Con relación a la activación de la relevancia, la influencia y el impacto, en el metamodelo se especifican las circunstancias en las que los eventos inciertos son relevantes a otros eventos inciertos, y qué sucesos específicos son relevantes a otro evento incierto, lo cual permite entender la naturaleza de la relevancia entre eventos inciertos y, por lo tanto, ayuda a especificar un mejor modelo particular de decisión. Este mismo criterio debe aplicarse a las alternativas que tienen influencia (efecto) en las distribuciones de probabilidad de eventos inciertos.

El metamodelo debe especificar los impactos de los sucesos y las alternativas sobre los resultados esperados de la situación de decisión. Dichos impactos son los efectos producidos por los sucesos o las alternativas sobre los resultados y su actualización significa actualizar las funciones que relacionan los sucesos o alternativas con el nodo de resultados.

La actualización de los resultados implica la modificación de valores específicos correspondientes a una cierta combinación de sucesos y alternativas y el actualizar parámetros significa revisar valores de constantes que forman parte de funciones que definen resultados lo cual requiere la ayuda del metamodelo en la actualización de resultados y parámetros indicando las condiciones en las que estos pueden cambiar, la dirección probable del cambio, y las fuentes de información que deben consultarse para realizar la actualización.

2.3.2.1.2.1 El diagrama de flujo

El diagrama de flujo es una herramienta técnica de carácter dinámico la cual representa gráficamente la información y los acontecimientos de un sistema sucedidos secuencial y repetitivamente además de ser útiles para descubrir y eliminar ineficiencias y para tal objeto, a través de los símbolos, clasifica las acciones que tiene lugar durante un proceso determinado.

Para efectos del metamodelo, el diagrama de flujo a emplear es el de bloques el cual representa simbólicamente sobre la base de unidades con especificaciones precisas y que representan la secuencia lógica de los eventos. Consiste en trazar un diagrama que contenga rectángulos, rombos, círculos y otros símbolos, escribiendo dentro de ellos lo que ha de hacerse en cada evento. La secuencia de los eventos se muestra conectando las figuras con flechas. Se elabora de arriba hacia abajo y aparecen operaciones también en sentido horizontal.

La mayor dificultad de representación constituye el diseñar un reflejo óptimo del sistema de forma que no quede el diagrama sobrecargado de líneas cruzadas o que no incidan demasiadas líneas en una misma zona del gráfico, lo que podría dar lugar a confusión o falta de limpieza en la presentación.

2.4 Programación Lineal

Johnson y Nemhauser (1992), realizaron una breve descripción histórica de la programación lineal (PL) en la cual establecen su surgimiento en la década de 1930 con los problemas de transportación de Kantorovich, la teoría del juego de Morgenstern y Von Neumann y los modelos de entrada-salida de Leontief. Al final de la década de 1940, Dantzig definió el modelo general y propuso el método simplex.

Para Hillier y Lieberman (2001) la aplicación de la PL comprende al problema general de asignar recursos limitados entre actividades competitivas de la mejor manera posible u óptima. Esta, requiere de modelos matemáticos para describir el problema y consideran que trata sobre la planeación de las actividades para obtener un resultado óptimo.

En todos los problemas de PL, la maximización o la minimización de alguna cantidad es el objetivo; una segunda propiedad son las restricciones que limitan al grado con el cual el objetivo puede ser perseguido.

Taha (2004), comenta que como todo modelo, se compone de:

- 1) Las variables de decisión a determinar;

- 2) El objetivo o meta a optimizar;
- 3) Las restricciones a satisfacer.

La PL se guía por los supuestos de proporcionalidad y aditividad (Taha, 2004, y Hillier y Lieberman, 2001), divisibilidad y certidumbre (Hillier y Lieberman, 2001) y el no cumplimiento de uno o varios de ellos es recomendable recurrir a un distinto tipo de programación como lo es la Programación no Lineal (PNL).

Hillier y Lieberman (2001) explican los supuestos mencionados de la siguiente forma:

- a) Proporcionalidad: la contribución de cada variable de decisión en la función objetivo y sus requerimientos en las restricciones, son directamente proporcionales al valor de las variables;
- b) Aditividad: la contribución total de todas las variables de la función objetivo (FO) y los requerimientos en las restricciones, son la suma directa de las contribuciones o requerimientos individuales de cada variable;
- c) Divisibilidad: las variables de decisión pueden tomar cualquier valor, incluso No enteros, a fin de satisfacer las restricciones funcionales y de No negatividad;
- d) Certidumbre: los valores de cada parámetro deben ser constantes conocidas. De acuerdo a este supuesto, se requiere de un análisis de sensibilidad posterior a la optimización.

Si el grado de incertidumbre en los parámetros es demasiado grande, pueden ser establecidos como variables aleatorias.

Según Anderson et al (2003), el riesgo especial de la PL es que la función objetivo y todas las funciones de restricción son funciones lineales de las variables de decisión. La PL involucra seleccionar un curso de acción cuando el modelo matemático del problema contiene subfunciones lineales. Requiere de evaluar la función de restricción en un solo punto de solución para determinar el lado factible de la línea de restricción.

Un problema de PL requiere identificar los puntos de solución que satisfagan todas las restricciones simultáneamente y reciben el nombre de soluciones factibles; el área sombreada en sus gráficos, se llama región factible. Cualquier punto de solución dentro de la región factible es un punto de solución probable siendo la solución óptima para un problema de PL la solución con el mejor valor posible de la función objetivo.

Existen dos enfoques para determinar la solución factible de los cuáles uno de ellos es la evaluación de la función objetivo para cada solución factible; la dificultad reside en la existencia de un número infinito de soluciones factibles. El segundo enfoque es la selección de un valor arbitrario para la contribución de utilidades e identificar todas las posibles soluciones que rindan el valor seleccionado. Un importante aspecto es la habilidad para graficar las líneas de restricción y la función objetivo de la PL. Todas las líneas de restricción y función objetivo de dos variables pueden ser graficados al identificarse dos puntos sobre la línea.

En la representación estándar de un modelo PL, los coeficientes de la FO para las variables de holgura equivalen a cero. Estas variables no afectan el valor de la FO, sin embargo los recursos

no utilizados pueden ser vendidos y así contribuir a la utilidad convirtiéndose en variables de decisión las cuales representan el importe de los recursos no usados a vender. Las restricciones redundantes no afectan la región factible ni la solución óptima por lo cual es recomendable mantener todas las restricciones aún y cuando en algún punto puedan ser redundantes.

Las soluciones óptimas ocurren en uno de los vértices o “esquinas” de la región factible y se denominan puntos extremos. El procedimiento de solución gráfica sólo es una forma conveniente de identificar un punto extremo óptimo para los problemas de dos variables y puede ser resumido de la siguiente forma:

- 1) Definición de las variables de decisión y la función objetivo;
- 2) Graficar las soluciones factibles de las restricciones;
- 3) Determinar el área de factibilidad identificando las soluciones que satisfagan todas las restricciones simultáneamente;
- 4) Dibujar la línea de la función objetivo que muestre los valores de las variables de decisión que rindan un valor específico;
- 5) Mover paralelamente la línea de la función objetivo hacia los valores de la FO mínimo (minimización) o máximo (maximización);
- 6) Cualquier solución factible sobre la línea de la FO con el menor o mayor valor es una solución óptima.

Existen casos especiales en la PL tales como:

- Soluciones óptimas alternativas: la línea de la FO óptima coincide con una de las ligas de las líneas de restricción de la región factible donde más de una solución provee el valor óptimo para la FO.
Para el decisor generalmente es una buena situación dada la existencia de varias combinaciones de las variables de decisión sin embargo, no es fácil determinar la solución en alternativas óptimas.
- No factibilidad: ninguna solución satisface todas las restricciones, incluyendo las de no negatividad. En algunas situaciones el único enfoque razonable es retirar una o más restricciones y resolver el problema pudiendo determinarse si la restricción(es) omitida(s) es la causa de la no factibilidad.
- Infinito: en la maximización, la solución puede ser infinitamente grande sin violar ninguna restricción y en la minimización infinitamente pequeña. Esta condición puede ser llamada utopía administrativa sin embargo, en la PL este caso significa que el problema ha sido impropriamente formulado.

Como se mencionó anteriormente, existen problemas que no cumplen con alguno de los supuestos de la PL arriba mencionado por lo cual es pertinente resolverlos con programaciones distintas como lo es la Programación No Lineal.

2.5 Programación No Lineal

La programación no lineal (PNL) facilita una serie de resultados y técnicas las cuales determinen los puntos óptimos de una función objetivo (FO) dentro de un determinado conjunto de oportunidades, donde la FO y las funciones que intervienen en las restricciones que determinan el conjunto de oportunidades pueden ser no lineales. La estructura del problema depende de las funciones que en él intervengan. A diferencia de la PL, donde el conjunto de oportunidades y la FO permiten obtener resultados generales sobre las posibles soluciones y facilitan los tratamientos algorítmicos de los problemas, ocasionan una mayor dificultad en la obtención de resultados lo cual también es reflejado en la dificultad de la obtención numérica de las soluciones.

La PNL busca a las variables de decisión factibles para el problema donde la FO toma el mayor valor posible. Si para un punto, la FO toma el valor máximo de todos los puntos situados en algún entorno suyo, se dice que el máximo es local. Si se encuentra en un punto que produce el valor máximo de f en todo el conjunto de oportunidades, es el máximo global.

Un problema general de la PNL busca encontrar los valores de ciertas variables que maximizan o minimizan una función dada, dentro de un conjunto definido por una serie de restricciones de desigualdad, de forma que no hay aseguradas condiciones de linealidad ni sobre la función a optimizar ni sobre las funciones que definen el conjunto dentro del cual se busca dicho óptimo.

Taha (2004) indica que los métodos de Programación No Lineal (PNL) pueden ser directos o indirectos. El método de búsqueda directa identifica el intervalo de incertidumbre que comprende al punto de solución óptimo y lo localiza estrechando progresivamente el intervalo de incertidumbre que comprende a la solución óptima; con los métodos indirectos se resuelve el problema no lineal manejando uno o más programas lineales derivados del programa original.

Eppen *et al.* (2000), comparan la Programación Lineal con la No Lineal mencionando las siguientes semejanzas:

1. Aumentar o disminuir el lado derecho de una restricción $\leq (\geq)$ suaviza la restricción, expandiendo el conjunto restringido;
2. Aumentar o disminuir el lado derecho de una restricción $\geq (\leq)$ intensifica la restricción, contrayendo el conjunto restringido;
3. Suavizar una restricción no perjudica el valor objetivo óptimo pero sí puede beneficiarlo;
4. Intensificar una restricción no beneficia al valor objetivo óptimo pero sí puede perjudicarlo;

Indican otra diferencia importante entre las programaciones mencionadas, la cual es la confrontación entre las soluciones globales y locales. En la PL siempre es válida la inexistencia de una solución local que no sea también global lo cual no es válido para la PNL.

2.6 Simulación de Monte Carlo.

La simulación es un método para analizar los sistemas cuyo conocimiento es experimentado con un modelo representativo de la realidad, implementado en un ordenador el cual describe el comportamiento del sistema y genera observaciones dadas ciertas entradas. Las observaciones se analizan estadísticamente en la estimación de las medidas del comportamiento del sistema.

Los modelos de simulación difieren según el espacio de los estados, ya sea discreto o continuo; sus observaciones son estáticas o dinámicas, según su función continua o discreta del tiempo; y las medidas de comportamiento pueden ser estáticas de transición o estacionarias (Ríos y Ríos, 2000).

La aplicación de este método requiere de las siguientes condiciones (Shanon, 1999):

- Existencia de una formulación matemática incompleta del problema;
- Complejidad y dificultad de los procedimientos matemáticos;
- Observación del desarrollo histórico simulado del proceso así como la estimación de ciertos parámetros;
- Dificultad en la experimentación y observación de los fenómenos en su entorno real;
- Necesidad de acelerar el tiempo en los sistemas o procedimientos;

También estipula a los siguientes elementos del modelo:

- Componentes o partes constituyentes del sistema (elementos o subsistemas);
- Variables. Existen dos tipos de variables las cuales son exógenas, externas o independientes, y endógenas, internas o dependientes;
- Parámetros o las cantidades a las cuales pueden asignárseles valores arbitrarios;
- Relaciones funcionales descriptoras de las variables y los parámetros mostrando su comportamiento dentro de un componente, o entre ellos, de un sistema y pueden ser determinísticos o estocásticos mismos que se presentan como ecuación matemática la cual relaciona las variables independientes y dependientes;
- Restricciones o limitaciones de los valores de las variables;
- Función objetivo la cual define explícitamente los objetivos y metas del sistema así como la forma de evaluar las decisiones.

En la simulación, el modelo es experimentado mediante la inserción de valores de las variables de decisión, bajo condiciones supuestas para después, observar su efecto sobre la variable criterio. No es una técnica de optimización; es un método que describe o predice cómo operará un sistema dadas ciertas opciones para las entradas controlables y valores generados al azar por las entradas probabilísticas (Anderson, Sweeney, Williams, 2003).

La simulación es inductiva y utiliza el concepto de muestreo al azar el cual describe los sucesos en el sistema para un periodo de tiempo dado y bajo una variedad de condiciones supuestas. El “estado del sistema” puede ser simulado ya sea avanzando el reloj en incrementos de tiempo

uniformes (simulación en el incremento del tiempo) o las variables (simulación de incremento de eventos)

La idea básica de la simulación es utilizar algún dispositivo que imite el sistema de vida real para estudiar y entender sus propiedades, conducta y características operativas.

La simulación es determinística si la distribución de cualquier variable aleatoria se representa por un valor y es probabilística, o simulación de Monte Carlo, si maneja fenómenos aleatorios.

La simulación de Monte Carlo considera a las variables aleatorias del modelo matemático del tipo estocástico detalladas en el sistema en diferentes puntos de tiempo y bajo diferentes combinaciones. Las variables aleatorias se convierten en una distribución probabilística que imita la realidad y el valor de dicha variable especificada es estimado. Aún más, al variar los valores de ciertos parámetros y variables independientes y repitiendo el proceso de muestreo aleatorio, se intenta medir el efecto sobre la variable estocástica escogida. La conducta simulada es utilizada como entrada al proceso de toma de decisiones.

Lo anterior conlleva el siguiente procedimiento de desarrollo:

- 1) Se obtiene una distribución de probabilidad para cada variable estocástica a analizar;
- 2) Se elabora una distribución probable acumulada correspondiente a cada distribución de probabilidad;
- 3) Se asigna un conjunto apropiado de números aleatorios que representen cada valor, o rango de valores, de las variables estocásticas seleccionadas;
- 4) Se corre el modelo por medio de un muestreo aleatorio.

Son importantes en el procedimiento la identificación de las distribuciones de probabilidad para cada variable aleatoria y la definición adecuada de las interdependencias que describen el comportamiento esperado de las variables lo cual es descrito con el análisis y la definición de las covarianzas y correlaciones entre las variables.

Las etapas de la simulación (Coss, 2002; Law & Kelton, 2000) son:

- 1) Definición del sistema: se analiza el sistema para determinar la interacción de los sistemas, las restricciones, las variables y sus interrelaciones, las medidas de efectividad y los resultados esperados.
- 2) Formulación del modelo: se determina y construye el modelo para la obtención de los resultados estableciendo variables, relaciones lógicas y diagramas de flujo necesarios.
- 3) Colección de datos: se establecen los datos requeridos influyentes.
- 4) Implementación del modelo en el ordenador.
- 5) Validación: se detalla la deficiencia en la modelación o en los datos de los expertos, exactitud de predicción de los datos históricos y futuros, comprobando la falla del modelo con ciertos datos y la aceptación o confianza en el modelo.
- 6) Experimentación: se generan los datos y realiza el análisis de sensibilidad.
- 7) Interpretación de los resultados y toma de decisiones.

2.7 Distribución de Probabilidad

Hines *et al.* (2005) comentan que la teoría de la probabilidad se originó en los siglos XVII y XVIII en Francia motivado por los juegos de azar. A partir del siglo XIX se desarrolló un modelo probabilístico conocido como movimiento browniano pues Robert Brown, en 1827, fue el primero en observarlo. Einstein en 1905 explicó dicho movimiento mediante la hipótesis que sostiene que las partículas se sujetan a un bombardeo continuo de las moléculas del medio circundante. Asimismo, considera que en la década de 1930 apareció una estructura rigurosa para la probabilidad.

La probabilidad es una función de conjuntos donde los elementos del dominio son conjuntos y los elementos del rango son números reales entre 0 y 1.

En la práctica, la probabilidad se asigna con base a:

1. Estimaciones obtenidas de experiencias u observaciones previas;
2. Una consideración analítica de las condiciones experimentales; o
3. Una suposición.
4. Un significado más formal lo expresa Loomba (1978) al fundamentar el término “probabilidad” sobre los conceptos de experimento al azar y variable al azar, donde el primero es aquel en el que cada objeto incluido en el experimento, o fenómeno, tiene la misma oportunidad de convertirse en un “resultado” del experimento. La variable al azar es una función del experimento mencionado, y asigna un número a cada resultado del experimento.
5. La variable al azar puede ser discreta (sujeta a conteo) o continua (sujeta a medición). Al ser la variable discreta, se recurre a un número finito de resultados y al ser continua, se tiene un número infinito de resultados.
6. Una distribución de frecuencia o listado de los posibles resultados, puede convertirse en distribución de probabilidad al expresar frecuencias de eventos como frecuencias relativas de manera que se *normalice* una distribución de frecuencias.

La variable al azar puede ser discreta (sujeta a conteo) o continua (sujeta a medición). Al ser la variable discreta, se recurre a un número finito de resultados y al ser continua, se tiene un número infinito de resultados.

Una distribución de frecuencia o listado de los posibles resultados, puede convertirse en distribución de probabilidad al expresar frecuencias de eventos como frecuencias relativas de manera que se *normalice* una distribución de frecuencias.

2.8 Optimización

Una definición general de optimización es la de ser un proceso para intentar encontrar la mejor solución a un problema que podría tener muchas soluciones posibles.

Loomba (1978) comenta que en los problemas de decisión el objetivo es identificar o diseñar la mejor (óptima) estrategia (curso de acción) ya sea maximizando o minimizando el valor de la

variable dependiente (criterio) o una función objetivo (asignando valores apropiados a las variables independientes o de decisión). El proceso general para encontrar la mejor (óptima) estrategia es llamada optimización y sus técnicas matemáticas son las técnicas optimizadoras.

El proceso se realiza en dos pasos:

- 1°) Desarrollo de un modelo matemático del problema de decisión (el modelo relaciona variables, parámetros y constantes elegidas);
- 2°) Según el modelo, se aplican las técnicas que identifiquen la estrategia óptima.

En la teoría clásica de la optimización, se recurre al cálculo diferencial con el fin de determinar los puntos extremos, máximos y mínimos, para funciones con y sin restricciones (Taha, 2004).

A manera de resumen, en la figura no. 10 se presentan algunas técnicas de optimización clásica para diferentes tipos de modelos matemáticos.

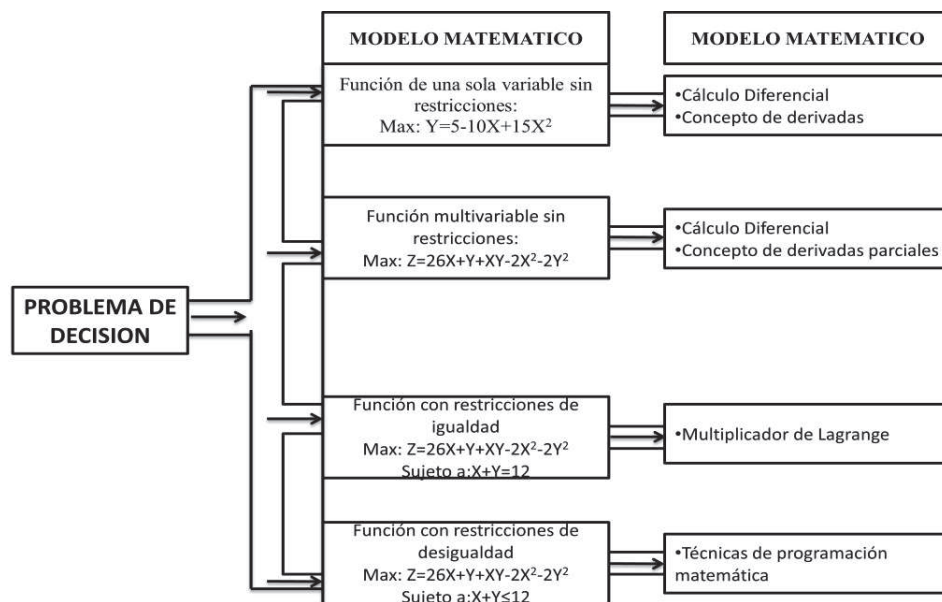


Figura 10: Técnicas de optimización con ejemplos
Fuente: Loomba, N. Paul. (1978)

2.9 El Algoritmo Genético

Hu y Di Paolo (2008) comentan que el algoritmo genético es un método a gran escala de búsqueda y optimización estocástica inspirado por los mecanismos biológicos de la evolución y la herencia cuya idea básica es: dada una población de cromosomas, el medio ambiente presiona la selección por causas naturales (sobrevivencia del más apto) y así la aptitud de la población crece. Análogamente, el proceso puede considerarse como una optimización: dada una función objetivo a maximizar, puede crearse aleatoriamente un conjunto de soluciones candidatas (cromosomas) y utilizar la función objetivo como una medida abstracta de la aptitud. Basados en esta aptitud, algunos de los mejores cromosomas son elegidos para sembrar cruzando y mutando. El cruce se aplica a dos cromosomas seleccionados, llamados progenitores, y resultan uno o dos

cromosomas nuevos, el crío, La mutación se aplica a un cromosoma y resulta un nuevo cromosoma. Cruzando y mutando lleva a un conjunto de nuevos cromosomas, la descendencia quien compite por un lugar en la siguiente generación. Este proceso puede ser iterado hasta encontrar la solución o un conjunto de tiempo límite es alcanzado. Muchos de los componentes del proceso son estocásticos.

El creciente interés en los algoritmos genéticos proviene del hecho de ser un método global y robusto en la búsqueda de las soluciones de problemas. Estos algoritmos tienen como ventaja:

- Son intrínsecamente paralelos pues al tener descendencia múltiple, exploran al espacio de soluciones en múltiples direcciones a la vez, de manera que, al evaluar pequeños entes, evalúa implícitamente a un grupo mucho más grande (teorema del esquema);
- Dado el paralelismo, evalúan implícitamente muchos esquemas con espacios de soluciones potenciales demasiado vastos como para hacer una búsqueda exhaustiva en un tiempo razonable. Generalmente son aplicados a problemas no lineales pues al cambiar un componente puede tener efectos en cadena en todo el sistema guiando a los cambios múltiples en combinación hacia grandes mejoras en las aptitudes;
- Los algoritmos genéticos se desenvuelven bien en problemas con un paisaje adaptativo complejo o aquellos en los que la función objetivo es discontinua, ruidosa, cambia con el tiempo o con muchos óptimos locales;
- Son hábiles para manipular muchos parámetros simultáneamente pues el paralelismo mencionado produce soluciones múltiples donde cada una de ellas optimiza un parámetro distinto hasta su último punto de mejora (óptimo paretiano o no dominada);
- No requieren conocimientos específicos sobre el problema a resolver pues realizan cambios aleatorios en sus soluciones candidatas y luego utilizan una función objetivo que determinan la mejora de los cambios.

2.10 Estado del Arte

El problema de ruteo vehicular (VRP) ha sido calculado de manera determinista así como considerado un eslabón de la cadena de suministro fundamental en la actividad de gestión, como es la distribución eficiente de los productos a los clientes (Nahmias, 2005), buscando determinar un conjunto de rutas de costo mínimo para una flota de vehículos con capacidad limitada situada en un depósito central el cual atiende demandas conocidas de un grupo de clientes geográficamente dispersos (Fisher, 1995; Toth y Vigo, 2002).

Entre los pioneros en buscar una solución sistemática al problema del ruteo destacan Dantzig y Ramser (1959) en su artículo “The Truck Dispatching Problem” quienes plantean la optimización en el ruteo de una flota para la entrega de gasolina a granel entre un depósito y un gran número de estaciones de servicio determinando la ruta más corta que pasa una vez a través de n puntos dados. En este trabajo, suponen la entrega de un solo producto, camiones con igual capacidad y aplican el método de programación lineal con variables discretas.

Ballou y Agarwal (1988) definen la programación y el ruteo de vehículos como un problema de número de rutas y vehículos necesarios en las múltiples paradas a partir de un depósito central determinando la mejor secuencia de visita reduciendo al mínimo la suma de la distancia para todas las rutas. Una parada es asignada a solo una ruta y la carga no puede rebasar la capacidad del vehículo (restricciones del sistema); clasifica los enfoques heurísticos, óptimos o cercanos a lo óptimo, en métodos de particionamiento, ahorros, agrupamiento (cluster) y “barrido” (*sweep*).

En el método de particionamiento, se esgrimen una amplia variedad de limitaciones donde el número de paradas y las restricciones impuestas, incrementan el tiempo por lo cual el método es aplicable a problemas con un rango de 20 a 25 paradas y restricciones de capacidad del vehículo. En el caso de los método de ahorros, se supone la disponibilidad de un vehículo para cada parada; existiendo tantas paradas como rutas; al combinarse las paradas en la misma ruta se selecciona la ruta con mayor ahorro y se elimina una de las rutas y un vehículo, continuándose con el proceso hasta que existe la posibilidad de ahorros o la capacidad del vehículo sea rebasado.

El Tercer método expresado por Ballou y Agarwal, es el agrupamiento o *cluster* donde se determinan las paradas de la ruta y su secuencia de acuerdo a la cercanía de las paradas y se agrupan en tanto la capacidad el vehículo lo permita. En el caso de exceso de la capacidad, las paradas se reasignan a vehículos con capacidad disponible.

En el método del “barrido” (*sweep*) se recurre a las coordenadas polares y busca la mayor extensión entre las paradas adyacentes. Este ángulo, dividido, es el punto de partida para el “barrido”. El “barrido” de un solo paso se realiza girando hacia la izquierda una línea con origen en el depósito o almacén; conforme la línea cruza una parada, se intenta asignar el volumen de parada al primer vehículo; la línea se rota sucesivamente interceptando las paradas cuyos volúmenes se asignan a este vehículo. Una vez que el volumen acumulado excede la capacidad del vehículo, o alguna otra restricción, se inicia una nueva ruta con un nuevo vehículo. Esta rotación continúa hasta que todas las paradas han sido asignadas a un vehículo y la línea gira nuevamente en la búsqueda de una nueva ruta.

De acuerdo a Cordeau, Gendreau, Laporte, *et al.* (2002), una buena heurística en el problema del ruteo vehicular debe tener las características de precisión, sencillez y flexibilidad. Agregan que la heurística de Clarke y Wright es una de las más conocidos y ampliamente usada hasta el día de hoy mismo que se basa en el concepto de ahorro considerándose muy sencilla y veloz pues no contiene parámetros y es sencilla de codificar; en las numerosas pruebas de algoritmos realizadas, lo han evaluado, medido como porcentaje del valor óptimo, como promedio en este atributo. Su evaluación de la flexibilidad, la capacidad de incorporar las limitaciones de las aplicaciones encontradas en la vida real, es su peor característica pues restricciones adicionales se pueden incorporar, con un deterioro significativo en los resultados de precisión.

Sin embargo, el método de Ahorro ha adquirido importancia pues la ruta seleccionada es la mayor generadora de ahorros en millas así como permitir establecer restricciones en la recolección y entrega en la misma ruta, el periodo de tiempo en cada parada, el tiempo de recorrido total y distintos tipos de vehículos sin embargo, el tiempo calculado aumenta

geométricamente según la cantidad de paradas que se realicen durante el recorrido total (Ballou y Agarwal, 1988).

2.10.1 Métodos de Ahorro

En 1964, Clarke y Wright retoman el problema de ruteo vehicular planteado por Dantzig y Ramser y desarrollan un método de solución heurístico conocido como el algoritmo de Clarke-Wright.

El enfoque de Dantzig y Ramser conectaba a pares de clientes juntos dentro una ruta, solo considerando la distancia entre ellos. Clarke y Wright consideraron reducir la distancia conectando a dos clientes en una ruta, en lugar de rutas separadas. Esto último lleva al concepto de Método de Ahorros el cual calcula los ahorros en millas para cada par de clientes y se les clasifica y coloca en rutas donde se conectan hasta que una restricción (longitud de ruta y/o capacidad del vehículo) es alcanzada (Ballou y Agarwal, 1988; Rand, 2009).

Rand (2009) considera para el problema del ruteo vehicular dos enfoques como son (i) paralelo donde se abre una nueva ruta al no existir conexiones entre los clientes dentro de una misma ruta cuya única restricción es la capacidad, y (ii) secuencial donde se desarrolla una ruta a la vez; asimismo, clasifica al Método de ahorros según las modificaciones, variaciones aplicadas y la mezcla de la flota vehicular.

Para Rand (2009), muchas modificaciones han sido propuestas al método de ahorros entre las que reconoce la asimetría de la red de carreteras siendo un problema de enrutamiento asimétrico de vehículos lo cual es particularmente aplicado a las zonas urbanas, donde las distancias pueden ser afectadas por los sistemas en un solo sentido. Otra extensión obvia a la formulación básica de la VRP es considerar más de un almacén. Comenta la existencia de la variación del VRP presentada por Basnet *et al.*, quienes consideran las redes de carretera como árboles que se producen, por ejemplo, en los sistemas de caminos rurales, donde los clientes se encuentran en los caminos rurales alejándolos unas cuantas millas de unas pocas carreteras que forman los “troncos” de una red tipo árbol. Sin embargo, considera cuatro variaciones bien establecidas las cuales son las variaciones dadas por el margen de tiempo (time Windows), la recolección de la carga de regreso (backhauls), la recolección (pickups), poseer una demanda estocástica y, por último, tener tiempos de viaje estocásticos.

En la variante ***margen de tiempo***, los clientes deben estar dentro de un margen de tiempo predeterminado planteándose dos cuestiones: (i) se requiere considerar la cronología de una relación propuesta, y (ii) la dirección de la ruta, la cual no es relevante en una distancia simétrica VRP sin restricciones de tiempo. Además para considerar las restricciones de capacidad, las limitaciones de tiempo deben ser verificadas en cada paso del proceso.

Powell (1996) considera el surgimiento de la asignación dinámica en un gran número de áreas de transportación y logística siendo el problema en el transporte de carga decidir la asignación del operador a cada carga caracterizándose por a) iniciar y terminar dentro del margen de tiempo, b) origen y destino similar, c) duración del viaje y d) un vector de atributos deseables para que el

chofer sea asignado y presenta un modelo híbrido en la asignación de choferes y las proyecciones futuras de carga.

Para Desaulnier, Lessard y Hadjan (2008) el problema del ruteo vehicular con margen de tiempo consiste en entregar bienes al mínimo costo a un conjunto de clientes con un número ilimitado de unidades capacitadas y asignadas a un solo depósito. Cada cliente es visitado dentro de un lapso de tiempo señalado.

Ortega *et al.* (2009) consideran al problema del ruteo de los vehículos bajo un margen de tiempo y programación de la carga para el diseño de rutas con restricciones temporales y capacidad de los vehículos, y la programación de las salidas de las unidades de la terminal dado un tiempo de carga debido a los recursos limitados disponibles; además, proponen e implementan una metaheurística basada en múltiples sistemas de colonias de hormigas, cada una con una función objetivo y organizadas jerárquicamente. Incorporan una actualización del tiempo dentro del procedimiento constructivo y programan la salida del vehículo desde la terminal cuando cada “hormiga” se mueve hacia un nuevo cliente.

La recolección de la **carga de regreso** (backhauls). Al contener la ruta del vehículo las entregas (*linehauls*) y recolecciones (*backhauls*) el VRP se convierte en un VRP con viajes de regreso (VRPB). Su cada vez mayor importancia se debe a la integración de viajes de regreso con entregas que utilizan la capacidad del vehículo y reduce el costo. En esta variación, se integra a los viajes de regreso entregas que utilizan la capacidad del vehículo y reducen el costo. Para Ghaziri y Osman (2006) el problema de ruteo con carga de regreso, comprende un almacén central, una flota de vehículos homogénea y un conjunto de clientes. El conjunto de clientes se divide en dos subgrupos. El primer (segundo) conjunto de ida (regreso) con carga se compone de los clientes con una cantidad conocida de bienes a entregar (recoger) a partir del depósito. El objetivo es diseñar un conjunto de rutas de costo mínimo, con origen y destino en la estación central para dar servicio al conjunto de los clientes.

Wasan (2007), considera que en el problema del ruteo vehicular con viajes de regreso (VRPB), se dan un conjunto de clientes, algunos de ellos son puntos de entrega y algunos viajes de regreso (puntos de recolección), un conjunto de vehículos homogéneos y un depósito. En este modelo, todos los clientes de la red de regreso deben ser visitados después de servir a todos los clientes de entrega en cada ruta; una restricción importante es la flota de vehículos fija la cual debe ser utilizada. La cantidad de bienes a entregar y la cantidad de productos recolectados no pueden exceder la capacidad del vehículo. El objetivo es reducir al mínimo la entrega total y el costo de la recolección, sin violar las restricciones.

La **recolección** (pickups). El ruteo con viajes de regreso requieren diferenciar la entrega (*linehaul*) y la recolección (*backhaul*) de los clientes, pero la demanda de embalaje y devoluciones de productos usados desde distintos puntos del cliente han aumentado considerablemente debido a las regulaciones ambientales y del gobierno, por lo cual el cliente puede solicitar la entrega y recolección. Esto da lugar a problemas de ruteo de vehículos con las recolecciones y entregas simultáneas (VRPPD). Crispim y Bardao (2005) comentan que el mayor

desafío en la carga de regreso es crear rutas donde los vehículos entreguen y recolecten la carga en las ubicaciones del cliente.

Wasan, Nagy y Ahmadi (2008) reiteran como la principal característica de esta modalidad el envío y recepción de los bienes por los clientes de manera simultánea o no. Los bienes se transportan hacia o desde un depósito por una flotilla siendo su objetivo encontrar un conjunto de rutas al menor costo satisfaciendo la demanda y no excediendo la capacidad de carga.

Con **demanda estocástica**. En esta variación, las demandas de los clientes son variables estocásticas o aleatorias, donde sólo la distribución de probabilidad para cada cliente se supone conocida en el tiempo de planeación, por lo que el costo esperado del viaje total está sujeto a la reducción al mínimo. Psaraftis (1995) presenta el VRP de un solo vehículo con demanda estocástica (VRPSD) y la reoptimización como un problema prototipo simple de ruteo vehicular dinámico de investigación difícil de resolver con exactitud. En este, la demanda de los clientes son variables aleatorias con distribuciones de probabilidad conocidas. Por lo tanto, la capacidad de los vehículos puede ser insuficiente para satisfacer la demanda de un cliente, en cuyo caso se produce un error y el conductor tiene que reabastecerse. Bajo el enfoque de reoptimización, una vez servida la demanda de un cliente, el conductor hace una ruta y una decisión de reabastecimiento dinámica, dada la capacidad de los vehículos disponibles y el conjunto de clientes por servir, decide el siguiente cliente, directamente o mediante el reabastecimiento.

Sungur, Ordóñez y Dessouky (2008) se enfocan en la optimización robusta para resolver problemas de ruteo de vehículos con demanda incierta, lanzan rutas que minimizan los costos satisfaciendo todas las demandas en un conjunto dado de incertidumbre definido (limitado). Los resultados del cálculo sobre casos de benchmarking y sobre familias de clusters muestran que la solución robusta puede proteger de la demanda insatisfecha mientras que se incurre en un pequeño costo adicional sobre las rutas óptimas determinísticas.

Tiempos de viajes estocásticos. En esta variación, se amplían hacia funciones objetivo más generales no limitadas a la minimización de costos e incluyen términos como sanciones por intereses perdidos; este modelo ha sido aplicado principalmente en la recolección de dinero en las sucursales bancarias. En Kenyon y Morton (2003), este ruteo consiste en planear rutas óptimas que sirvan a una cantidad de locaciones con viajes y tiempo de servicio aleatorios; el sistema es modelado con una red cuyos arcos tienen tiempos de viajes aleatorios y no negativos, y distribuciones conocidas. Los vehículos no están habilitados y las rutas inician y terminan en el depósito. Definen a la ruta como el conjunto de arcos seguidos por un vehículo y el conjunto de nodos que sirve. Dichas rutas son seleccionadas previo al conocimiento del viaje y el tiempo aleatorios. Una vez planeadas las rutas y conocidos el viaje y el tiempo aleatorios, se calcula el tiempo real del servicio. Los vehículos deben seguir sus rutas a priori y no se permiten rutas de reoptimización.

Una decisión importante es la composición de una flota de vehículos dado el costo y riesgo de la inversión al adquirir un vehículo, o flota de vehículos. Los investigadores han tratado de desarrollar una heurística eficiente, que incorpore el ruteo y los costos fijos del vehículo, para

producir un número factible de buena mezcla. Liu y Shen (1999) consideran al problema del tamaño de la flota y la mezcla de los vehículos en el ruteo (FSMVRP) como simultáneo al determinar la composición de una flota heterogénea de vehículos a fin de atender una serie pre-determinada de clientes con demandas de entrega desde un almacén central. Amplían el FSMVRP con la imposición de restricciones de márgenes de tiempo. Las limitaciones de tiempo son "duras" es decir, el vehículo no puede visitar a un cliente más allá de un determinado tiempo de servicio y hay que esperar si llega demasiado pronto con el cliente.

De acuerdo a Dullaert *et al.* (2002), el objetivo es minimizar los costos de ruteo y del vehículo (al adquirirse) de una flota heterogénea; los vehículos habilitados están obligados a atender a los clientes geográficamente dispersos en un periodo de tiempo programado limitado.

Dell'Amico *et al.* (2007) analizan el tamaño de la flota y su mezcla en el problema de ruteo con margen de tiempo como un problema de determinación simultánea de la composición y el ruteo de una flota con vehículos heterogéneos que sirven a un conjunto dado de clientes; el problema del ruteo requiere diseñar un conjunto de rutas al mínimo costo que inicien y terminen en un depósito central y sirva a clientes con una demanda conocida, dentro de un margen de tiempo.

Montiel y Aguilar (2008) modelan dos problemas de la transportación terrestre de mercancías los cuales son la asignación del viaje con la restricción de unidades y la adquisición de nuevas unidades, modelado que realizan bajo situaciones de decisiones con incertidumbre por medio de un simulador Monte Carlo evaluándose económicamente lo que concierne a la utilidad en la asignación del viaje y el valor presente neto con el cual se determinará la factibilidad de la compra. Las unidades parten de la empresa transportista, recogen la carga, la entregan en una localidad distinta a la ubicación de la empresa y regresan a la empresa; además, se tienen que satisfacer los requerimientos de tiempo de la entrega minimizando los costos que incluyen, entre otros, gastos de operación, combustible y mano de obra. La asignación de viajes considera a una unidad tractiva y una unidad de arrastre cuyas características sean las más apropiadas para la carga.

En este modelo, la variable principal del modelo simulado, es la aceptación del viaje por su impacto en los ingresos y el costo, e influencia sobre las utilidades, de los costos de oportunidad y el valor presente neto (VPN), así como generar los ingresos que permiten la compra de nuevas unidades. En la modelación, la función objetivo simula los criterios utilidades y valor presente neto, misma simulación que ayuda en la determinación de los costos con mayor influencia en las utilidades.

Existen otras variaciones como la de minimizar el costo total del regreso vacío (*deadheading*) de Gavish y Schweitzer (1974) en el cual se decide semanalmente la cobertura de la demanda de la siguiente semana y suponen a la oferta en cada depósito como adecuada en su área de influencia y su criterio de elección es la minimización del costo de enfrentar todas las demandas.

Altinkemer y Gavish (1991) consideran al problema de entrega como encontrar un conjunto de rutas para una flota de vehículos de capacidad conocida para satisfacer los requerimientos de

entrega de carga determinística. Los vehículos se ubican en un depósito central y tienen que satisfacer los requerimientos de la entrega en una secuencia que minimice los costos. Los viajes inician y terminan en el depósito central y la carga es provista por un solo vehículo. El conjunto de nodos servidos en el mismo viaje forman un grupo. Los costos totales incluyen gastos de operación, combustible y mano de obra. De las restricciones, en la primera y la segunda, se asegura que solo un vehículo entra y sale en cada nodo de entrega; en la tercera restricción, se determina la misma cantidad de vehículos entrantes y salientes del depósito central; la restricción 4 indica que cualquier solución viable debe tener $n-1$ arcos, además los arcos regresan directamente a la estación y la quinta restricción asegura que ningún subviaje se forme sin haber pasado por el depósito y la restricción de capacidad no sea violada.

Altinel y Oncän (2005) proponen un método de ahorro heurístico paralelo el cual combina a las distancias y las demandas de los clientes en el criterio de ahorro. El VRP consta de dos problemas: el problema del agente viajero y el problema del embalaje en el depósito.

Battara, Golden y Vigo (2008) consideran el requerimiento de un conjunto de parámetros en casi todos los procedimientos de optimización heurística cuyo ajuste suele ser un problema grave y conllevar necesidades. Proponen un enfoque rápido y efectivo de dos etapas. En la primera etapa, un algoritmo genético se aplica a un pequeño subconjunto de problemas representativos para determinar algunos sistemas robustos de los parámetros y, en la segunda etapa, estos conjuntos de parámetros son los puntos de partida para un procedimiento de búsqueda local rápida, capaz de investigar más a fondo el conjunto de parámetros para cada problema a resolver.

2.10.2 Algoritmo Genético

En la necesidad de obtener resultados más robustos y flexibles en el VRP, la necesidad de nuevas técnicas optimizadoras con mayor capacidad de eficiencia ha originado el recurrir a los algoritmos de inspiración biológica (BIAs por sus siglas en inglés) siendo sus tres principales ramas los algoritmos evolucionarios (EAs), la inteligencia de enjambre (SI) y algoritmos bacterianos de forrajeo (BFAs) basados sobre los sistemas biológicos, la evolución genética y las conductas animal y bacterial en los patrones de forrajeo (Tang y Wu, 2009).

La aplicación de los EAs inició entre las décadas de los 1950 y 1960 inspirada en la naturaleza del proceso de la evolución genética base de la familia correspondiente cuya característica común se basa en los algoritmos de búsqueda de la población estocástica bajo el mejor criterio de sobrevivencia. Esta rama, se compone del algoritmo genético (GA), la programación genética (GP), programación evolutiva (EP) y estrategia evolutiva (ES).

En la década de 1990, dentro de las SI, basados en la conducta animal, surgieron las técnicas de optimización de partículas enjambre (PSO), el optimizador de la colonia de hormigas (ACO) y el grupo optimizador de búsqueda (GSO). El PSO es un algoritmo de rastreo de la trayectoria, sin operadores evolutivos y más como un enfoque de búsqueda estocástica.

ACO tiene los mismos fundamentos mencionados pero simulan la estrategia seguida por las hormigas y GSO realiza su investigación similar al productor parásito haciendo una búsqueda efectiva al mantener una porción razonable de diferente funcionamiento de grupos.

Las BFAs heredan las características de los patrones de alimentación bacterianas, como la quimiotaxis, el metabolismo, la reproducción y la detección de quórum siendo utilizado en la solución de problemas con mayor complejidad de optimización.

A principios de la década de 1970, J. Holland atrajo la atención hacia los algoritmos genéticos inspirados en el proceso darwiniano de la evolución desarrollado con cadenas binarias de duración fija y los operadores básicos de mutación y cruce binarios, introducidos por Goldberg en 1968.

Las aplicaciones del VRP, propuesta por primera vez por Dantzig y Ramser en 1959, son muy comunes en la vida real. Se considera la existencia de un depósito con una flota vehicular de capacidad restringida y un conjunto de clientes, cada uno con cierta demanda de la mercancía o mercancías a expedir. El problema es determinar las rutas óptimas de los vehículos para visitar a cada cliente una sola vez con el fin de satisfacer la demanda siendo el objetivo más común en la optimización minimizar la distancia total de los vehículos.

Debido a la importancia del VRP, se han propuesto muchas técnicas de solución. Algunos ejemplos incluyen la búsqueda tabú (Gendreau, Herts y Laporte, 1994) y la “simulación recocida” (Osman, 1993). En los últimos años, los algoritmos genéticos (Berger y Barkaoui, 2003), han atraído la atención dada su robustez y flexibilidad.

Lafarja *et al.* (2007) representan el problema de la aceptación de los viajes a partir de la recepción de una orden la cual indica el destino, se revisa la disponibilidad y las condiciones de la unidad de transporte. El objetivo del modelo es ayudar a realizar la asignación de viajes aceptados, así como hacer un análisis adecuado de gastos, considerando todos los factores y contingencias que podrían ocurrir durante el viaje y que puedan influir en el mismo. Se analizan todos los ingresos y gastos esperados para tomar decisiones que maximicen la utilidad económica del viaje. Se analizan los costos de oportunidad y valor presente neto, con la finalidad de evaluar la utilidad así como el costo por no realizar el servicio. Otro aspecto importante dentro de la empresa es el referido a la compra de nuevas unidades y el modelo desarrollado analiza la factibilidad de invertir en unidades tractoras y de arrastre para incrementar el número de unidades de su flotilla.

En este modelo, la variable principal del modelo matemático optimizado es el número total de viajes aceptados por su impacto en los ingresos y el costo, e influencia sobre las utilidades, los costos de oportunidad y el valor presente neto (VPN), así como generar los ingresos que permiten la compra de nuevas unidades. En la modelación, la función objetivo optimiza los criterios utilidades, costos de oportunidad y valor presente neto, misma simulación que ayudará en la determinación de los factores con mayor influencia en las utilidades.

El modelo matemático empleado para optimizar la asignación de viajes involucra una sola variable que controla la función objetivo y las restricciones del modelo, analizan y calculan los parámetros que influyen en la función objetivo y se asignan las unidades; se determina la asignación de la unidad de arrastre a una demanda diaria con comportamiento de una distribución normal y, posteriormente, los viajes a realizar así como los servicios que no se realizaran y que representan un costo de oportunidad. Dentro de los costos inciertos, se aplicó distribución probabilística.

Esta investigación, está basada sobre los trabajos de Lafarja, Aguilar, *et al.* (2007) y Montiel y Aguilar (2008) descritos anteriormente los cuales aplican un modelo matemático y una Simulación Monte Carlo con el apoyo de los programas *RISKOptimizer* y *@Risk*. Quienes modelan los problemas de asignación de unidades y adquisición de nuevas unidades. En esta tesis, se modelan los problemas de asignación de unidades, compra y cambio de llantas, adquisición de nuevas unidades y selección y contratación de nuevos operadores, modelado que se realiza bajo situaciones de decisiones con incertidumbre.

La asignación de viajes, principal variable, es un modelo matemático representado con el apoyo del programa *RISKOptimizer*, donde se asignan primeramente la unidad de arrastre, según su peso y tipo de carga. Establecida la unidad de arrastre, con base al ingreso generado se establece la función objetivo así como la asignación de la unidad tractiva para la movilización de la carga lo cual permitirá la generación de ingresos así como considerar los costos de la transportación para la maximización de las utilidades. Además, la necesidad de tener en buen estado las unidades para su disponibilidad, dado el impacto en el costo, el modelo de la adquisición de neumáticos es simulado con el apoyo del programa *@Risk*.

La importancia de la variable asignación de viajes en la maximización de las utilidades así como la falta de recursos para cubrir una mayor cantidad de viajes, motiva la modelación matemática óptima de la adquisición de unidades tractiva y de arrastre (remolque y/o semiremolque) cuyo VPN se maximiza.

Finalmente la adquisición de la unidad requiere de la selección de operadores que se responsabilicen de dar el servicio oportunamente, es modelada su simulación con el apoyo del programa *@Risk*.

CAPITULO 3:
MODELO DE
DECISION
MULTICRITERIO EN
UNA EMPRESA
TRANSPORTISTA

Capítulo 3 Modelos de decisión multicriterio en una empresa transportista

El proceso para cubrir las solicitudes del servicio de autotransporte de carga recurre a diversas tomas de decisiones originadas por la solicitud de la prestación del servicio por parte del cliente.

El análisis de las decisiones puede apoyarse en un modelo formal de decisión el cual se desarrolle en menor tiempo y costo de lo requerido con rasgos que considere y pondere algunos elementos inciertos que afecten significativamente la autotransportación de carga y pueda beneficiar a las pequeñas empresas transportistas.

El modelo especializado que se presenta busca facilitar la determinación y selección de los cursos de acción adecuados en las principales y recurrentes situaciones de decisión en la operación de las empresas transportistas las cuales buscan maximizar las utilidades y la minimización de los costos en los que se incurre, bajo las características de la empresa de contar con pocos recursos los cuales buscan cubrir servicios de transportación de carga de manera oportuna y confiable.

Cada modelo reusable de decisión se forma por un modelo maestro y un metamodelo y se diseña para atender a un conjunto de decisiones las cuales pueden comprender elementos comunes además de tener el suficiente conocimiento para identificar su estructura general. La recurrencia y la complejidad de la situación de la decisión, permite desarrollar el modelo reusable de decisión.

3.1 El modelo maestro

El modelo maestro, típicamente es un diagrama de influencia el cual representa las decisiones, las alternativas, los eventos inciertos, las preferencias y los parámetros, y los resultados que se presentan en una pequeña empresa transportista que otorga los servicios de autotransportación de carga federal. Asimismo, el modelo maestro representa también las relaciones de relevancia, información, influencia e impacto entre los componentes del modelo.

Las decisiones recurrentes, sugieren diseñar un modelo reusable de decisión el cual, con pequeñas variaciones, se particularice y convierta en una herramienta aplicable a diferentes empresas autotransportistas, además de permitir la decisión acorde con las preferencias del decisor evitando resultados indeseables. En las siguientes secciones, se desarrollan los modelos maestros y sus respectivos metamodelos representando cada una de las decisiones a tomar por las empresas transportistas.

3.1.1 Asignación de unidades

La empresa transportista asigna las unidades, tractivas y de arrastre, de acuerdo a sus recursos los cuales son limitados, recursos que deben ser preservados en buen estado mecánico para su disponibilidad en su momento oportuno pues, por lo contrario, se puede perder el cliente así como el ingreso correspondiente.

El cliente, al solicitar el servicio, indica el peso de la carga a transportar y el punto de origen y el destino final del viaje de forma que la empresa le indique la cuota por tonelada a pagar,

generando así el ingreso correspondiente, y con dicha información procede a asignarle la unidad de arrastre, semirremolque o remolque, que más se ajuste a las necesidades.

Una vez asignada la unidad de arrastre, la empresa transportista asigna la unidad tractora cuyos costos conciernen a las erogaciones que realizará el transportista durante el viaje, viáticos y sueldo, la fijación por gastos imprevistos así como la provisión para cubrir fallas y accidentes que puedan suceder durante el transcurso del viaje. De igual manera, la empresa realiza gastos los cuales prorroga entre las unidades cuya finalidad es la preservación de la unidad tractora, gastos que son por el mantenimiento a los vehículos así como la afinación al motor y la transmisión y la adquisición y cambio de las llantas, la depreciación del activo y el seguro de la unidad.

En este modelo se establecen las relaciones de influencia basadas en tres decisiones principales las cuales influyen en la utilidad que obtiene la empresa transportista. Tales decisiones son la elección del viaje, la asignación de las unidades de arrastre y la asignación de la unidad tractiva.

1) Elección del viaje

En esta decisión, la cual parte de la necesidad del cliente quién solicita el servicio de autotransportación, la empresa transportista considera dos factores como son el peso de la carga, y la fijación de la cuota por tonelada, de donde se obtiene un ingreso, útil en la maximización de las utilidades.

La mercancía es la carga a desplazar entre los puntos de origen y destino y su peso, nodo incierto, es medido en toneladas. La cuota, nodo determinístico, es el precio que establece la empresa a cada tonelada de producto. Al relacionarse los factores mencionados, se genera el ingreso.

La representación de los nodos de esta primera decisión, elección del viaje, se presenta en la figura no. 11, así como su impacto en la utilidad.

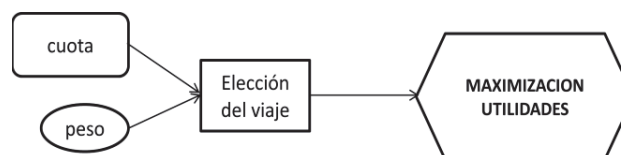


Figura no. 11: Decisión “Elección del viaje” y su influencia en la maximización de utilidades

2) Asignación de la unidad de arrastre

Una vez elegido el viaje, la empresa verifica la capacidad de las unidades de arrastre disponibles para el servicio de carga considerando para ello la capacidad de dicha unidad, considerado como un nodo de riesgo, y el peso de la carga, elemento del conjunto predecesor de la decisión de la elección del viaje. En este caso, la unidad de arrastre puede ser un semirremolque o un remolque cuyas capacidades son de 30 y 50 toneladas, respectivamente.

Además del peso de carga, dichas unidades presentan las siguientes diferencias:

- ✓ **Semirremolque:** es el vehículo sin eje delantero, destinado a ser acoplado a un tractocamión de manera que sea jalado y parte de su peso sea soportado por éste.

- ✓ Remolque: es el vehículo con eje delantero y trasero no dotado de medios de propulsión y destinado a ser jalado por un vehículo automotor, o acoplado a un Semirremolque.

Verificada la capacidad, se procede a asignar la unidad correspondiente.

La asignación de la unidad de arrastre es el nodo de decisión y la capacidad de la unidad es el nodo determinístico y su influencia se representa en la figura no. 12. De manera informativa, se agrega en este cuadro la influencia con una línea discontinua al peso de la carga expresado como un nodo informativo.

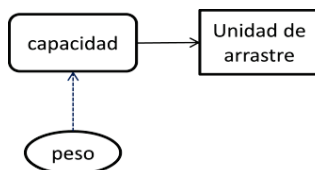


Figura no. 12: Decisión “Asignación unidad de arrastre

3) Asignación de unidad tractora.

La unidad tractora es el vehículo automotor de dos ó tres ejes destinado para el transporte de la carga, ya sea mediante el arrastre de remolques, semirremolques, o con equipo integrado, cuyo peso bruto vehicular es de 30,000 Kilogramos en adelante, el cual fue decidido en el conjunto predecesor de la decisión “Asignación de la unidad de arrastre”.

La decisión de la unidad tractora considera la información concerniente a los gastos por realizar los cuales, de manera agrupada, son las erogaciones por gastos fijos, los gastos de viaje y los gastos del automotor; además, dada su importancia, se considera como una categoría, el gasto del combustible en el cual pueda incurrirse, decisiones cuya influencia es representada en la figura no. 13.



Figura no. 13: Influencia de los gastos por el servicio del autotransporte en la maximización de las utilidades

Los gastos fijos se componen por los gastos del peaje donde se relacionan al costo por kilometraje y el kilometraje total del viaje de transportación; el sueldo del operador compuesto por el salario del operador y el importe de los viáticos de acuerdo al total de días en que se realizará el servicio (figura no. 14). De los anteriores, son considerados nodos determinísticos el pago de casetas y peaje en las carreteras, el sueldo del operador, y los kilómetros totales a recorrer durante el servicio de transportación. Los nodos determinísticos, presentan información determinada por las condiciones iniciales o dependen de ciertas referencias para su precisa determinación o bien, es ya conocida.

Los nodos de riesgo incluyen sus propios sucesos o eventos que forman la distribución probabilística representativa de los eventos. Así, el costo por kilómetro diario recorrido considera el valor promedio de las casetas de peaje y los viáticos del operador los cuales dependen del recorrido diario y la duración del viaje respectivamente.

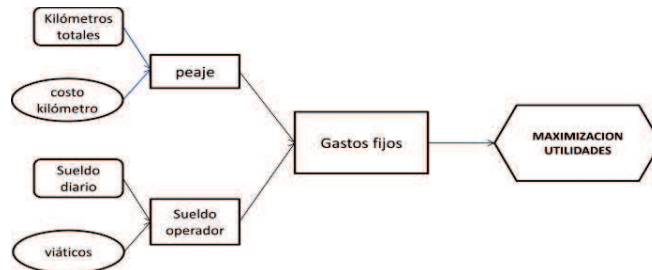


Figura no. 14: Influencia de los gastos fijos en la maximización de las utilidades

El segundo grupo de costos, concierne a los gastos por realizar durante el viaje de autotransportación los cuales comprende a los gastos por imprevistos, la evaluación del grado de accidente y la probabilidad de su suceso. Los gastos imprevistos por fallas y la ponderación del riesgo según la ruta se consideran nodos determinísticos y el suceso de accidente como nodo de riesgo; el gasto fijo, perteneciente al conjunto predecesor de “gastos fijos” se considera como un nodo informativo pues un porcentaje de este compone los gastos por imprevistos. Su representación se establece en la figura no. 15.



Figura no. 15: Influencia de los gastos de viaje en la maximización de las utilidades

El tercer grupo de costos influyentes en el modelo es el gasto del automotor dentro del cual se consideran las erogaciones propias de las afinaciones del motor y la transmisión, el mantenimiento del vehículo, neumáticos y colocación, la depreciación del vehículo y el seguro de la unidad.

El gasto por la afinación del motor relaciona el kilometraje total a recorrer por la unidad, nodo determinístico, y el costo de la afinación por kilómetro compuesto por el costo del último servicio de afinación realizado, nodo de riesgo, y el estándar del kilometraje garantizado por la afinación –nodo determinístico (figura no. 16).

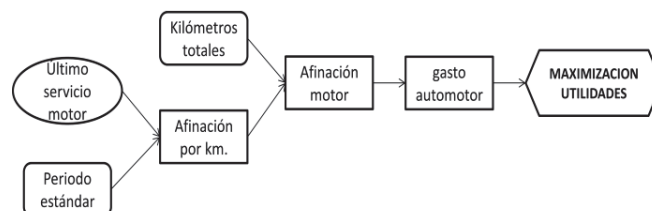


Figura no. 16: Influencia de la afinación del motor en los gastos de viaje

La afinación de la transmisión relaciona el kilometraje total a recorrer por la unidad, nodo determinístico, y el costo de la afinación correspondiente por kilómetro compuesto por el costo del último servicio de afinación realizado, nodo de riesgo, y el estándar del kilometraje garantizado por la afinación –nodo determinístico (figura no. 17).

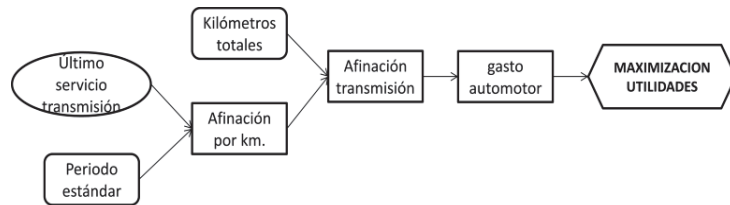


Figura no. 17: Influencia de la afinación de la transmisión en los gastos de viaje

Los gastos por mantenimiento relaciona el kilometraje total a recorrer por la unidad, nodo determinístico, y el costo del mantenimiento por kilómetro compuesto por el costo del último servicio de afinación realizado, nodo de riesgo, y el estándar del kilometraje garantizado por la afinación –nodo determinístico (figura no. 18). Dentro de estos conceptos, se incluyen los repuestos y reparaciones programadas a la marcha, el alternador, la batería, los inyectores, el disco de embrague y las zapatas de frenos.

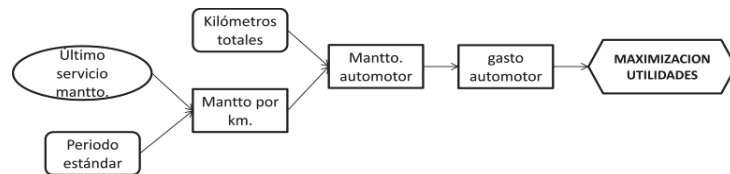


Figura no. 18: Influencia del mantenimiento de la unidad en los gastos de viaje

Los gastos por neumáticos, relaciona el total de kilómetros, la cantidad de llantas necesarias, nodos determinísticos, y el costo de los neumáticos por kilómetro compuesto por los nodos de riesgo de duración de la llanta y su precio (figura no. 19)

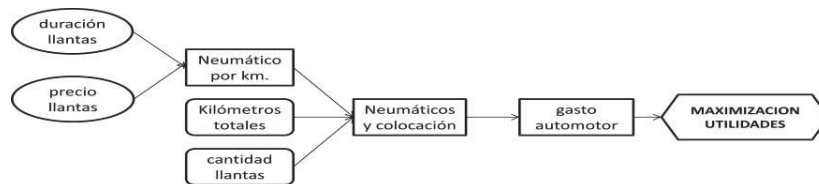


Figura no. 19: Influencia del gasto por llantas en los gastos por viaje

Los gastos por depreciación del vehículo, relaciona el total de kilómetros, nodo determinístico, y la provisión por la depreciación por kilómetro compuesto por los nodos de riesgo inversión en activo fijo y la vida útil del vehículo (figura no. 20).

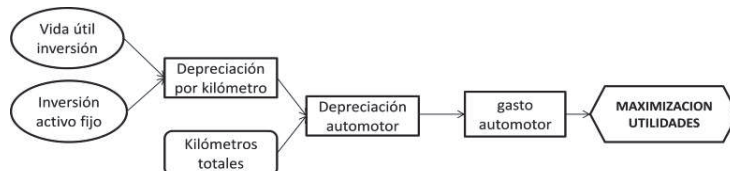


Figura no. 20: Influencia de los gastos por la depreciación del vehículo en los gastos por viaje

Los gastos por el aseguramiento del vehículo, relaciona el total de kilómetros, nodo determinístico, y el costo del seguro por día compuesto por el nodo de riesgo costo del seguro y el nodo determinístico los días del año (figura no. 21).

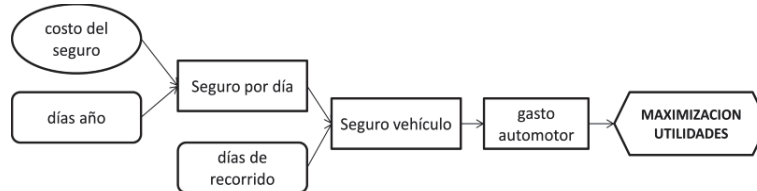


Figura no. 21: Influencia del gasto en el seguro del vehículo en los gastos de viajes

Los gastos por combustible relacionan el total de kilómetros, nodo determinístico, con el rendimiento del combustible, nodo de riesgo, y el precio por litro del combustible, nodo determinístico, por tractocamión (figura no. 22).

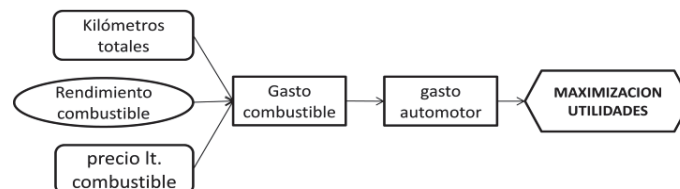


Figura no. 22: Influencia del gasto por consumo de combustible en los gastos de viaje

En la figura no. 23 se presenta el modelo maestro “Asignación de unidades”, representado con el Diagrama de influencia donde son incluidos los nodos de decisiones “Elección de viaje”, “Asignación unidad de arrastre” y “Asignación de unidad tractora” donde pueden observarse los nodos de riesgo, determinísticos y las relaciones de información así como su influencia en la maximización de utilidades.

3.1.2 Compra de llantas

Para adquirir las llantas necesarias para las unidades, la empresa transportista verifica el estado físico de las mismas con la finalidad de determinar el buen estado físico, previo a la asignación de viajes de carga; en caso contrario, se ve en la necesidad de cambiarlas por llantas en buen estado por lo cual se ve en la necesidad de adquirirlas.

La adquisición de las llantas, cuyos objetivos son la adquisición de llantas más eficientes en el desempeño de la transportación y la disminución del costo correspondiente, requiere de un proceso de compra en el cual sea evaluado el producto ofertado por los proveedores para obtener el mejor precio y eficiencia en el desempeño y suministro.

Para realizar esto, la empresa, una vez determinada la cantidad de llantas a cambiar, solicita a proveedores las cotizaciones correspondientes así como las fechas de entrega, y recaba información acerca del desempeño de los proveedores, duración de las llantas cotizadas, precio de los servicios complementarios (alineación, balanceo y válvulas), entre otros.

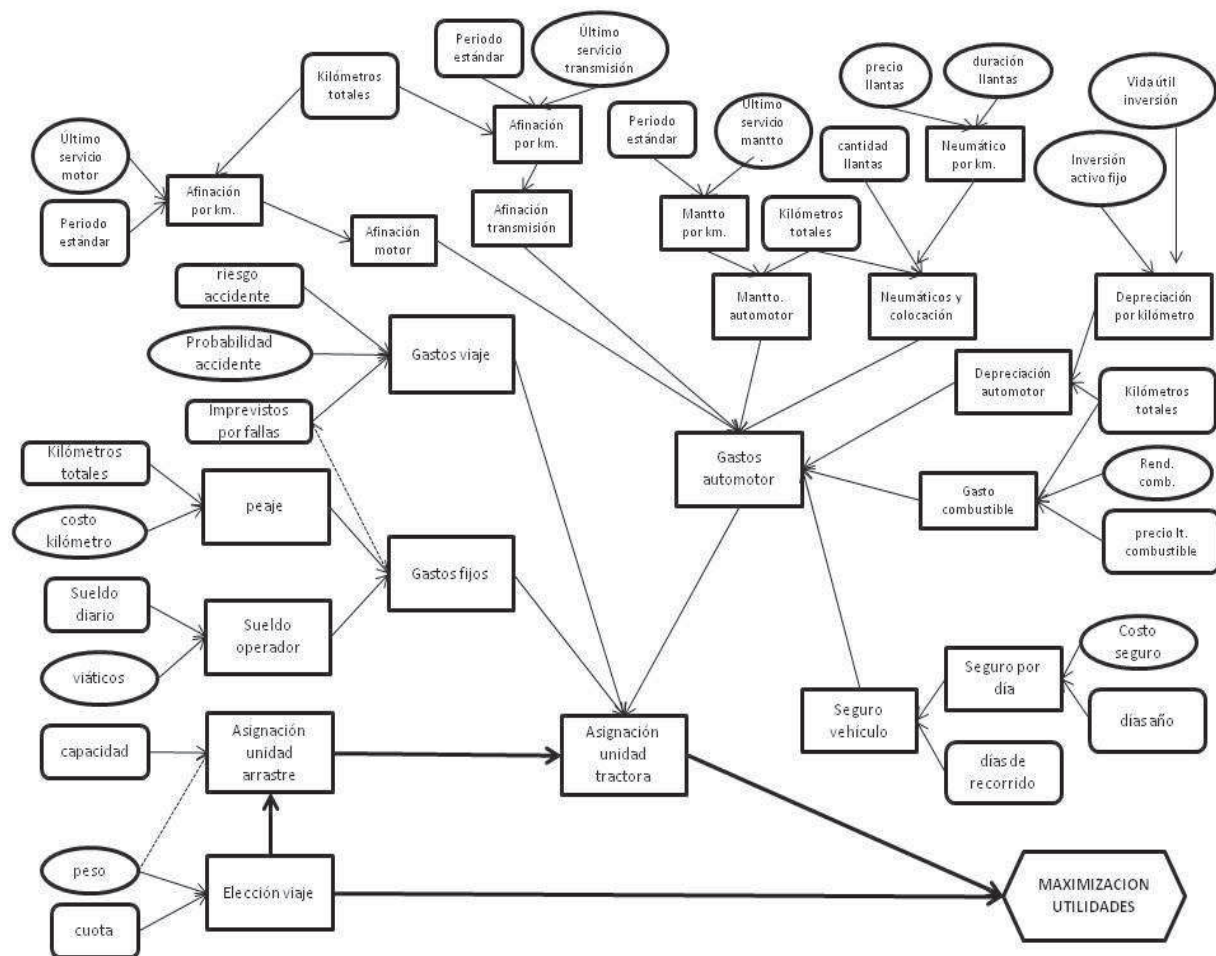


Figura no. 23: Modelo maestro “Asignación de unidades”

La decisión para la adquisición de llantas, considera la información concerniente al costo total real de las llantas por comprar, el desempeño esperado de las llantas (eficiencia), la disponibilidad en días para la adquisición de la llanta (costo de oportunidad) y los precios unitarios de las válvulas, la alineación y el balanceo (servicio adicional), decisiones cuya influencia es representada en la figura no. 24.



Figura no. 24: Influencia de la compra de llantas del autotransporte en la minimización del costo

El costo total real es la relación entre el precio unitario de la llanta y la cantidad total de llantas a adquirir pudiendo realizarse al contado o a crédito.

En este nodo de decisión, se consideran los precios cotizados de las llantas (precio de lista) y se define el tipo de pago, contado o crédito; para esto, la empresa transportista verifica la disponibilidad de efectivo, la tasa de interés y la inflación (nodos determinísticos) y los gastos imprevistos de la empresa (nodo incierto).

En este modelo, primeramente se considera el diagrama de influencia de la compra a contado y, posteriormente, la compra a crédito.

1) Compra de llantas a contado

La decisión para la adquisición de llantas al contado, recurre a la información concerniente a la cantidad de llantas por adquirir, precio unitario o de lista de las llantas por comprar, el tipo de llanta, las cuales tienen diferentes precios relacionados a través de un precio unitario ajustado y vida útil así como la disponibilidad del efectivo suficiente para su adquisición. En este caso, los nodos “cantidad de llantas,” “precio de lista,” “tipo de llanta” y “vida útil” son determinísticos y tanto el precio unitario ajustado como el efectivo disponible, son nodos de riesgo, cuya influencia se representa en la figura no. 25.

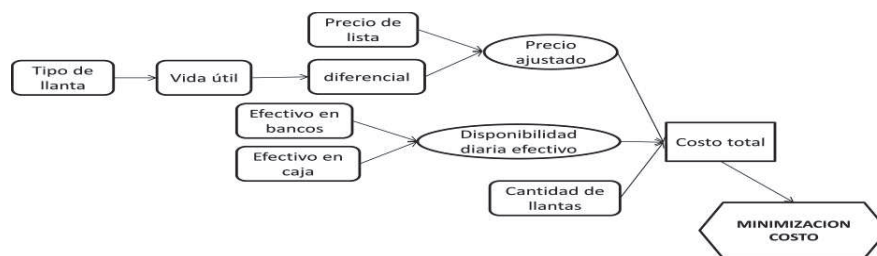


Figura no. 25: Influencia de la compra de llantas al contado en la minimización del costo

2) Compra de llantas a crédito

La decisión para la adquisición de llantas a crédito, comprende la información concerniente a la cantidad de llantas por adquirir, al precio unitario o de lista de las llantas por comprar, el tipo de llanta las cuales tienen diferentes precios relacionados a través de un precio unitario ajustado y vida útil así como la disponibilidad del efectivo suficiente para su adquisición; además requiere la información correspondiente a las tasas de interés, los plazos de pago otorgados por el proveedor y la inflación mensual. Dado que los elementos cantidad de llantas a adquirir, precio ajustado y disponibilidad diaria de efectivo relacionados en el modelo de compra a contado son similares en la compra a crédito, se parte de estos para su representación correspondiente. En este caso, los nodos “tasa de interés,” “plazos de pago” e “inflación mensual” son determinísticos y el precio unitario ajustado y el efectivo disponible son nodos de riesgo. La influencia expresada por los nodos mencionados, se representa en la figura no. 26.

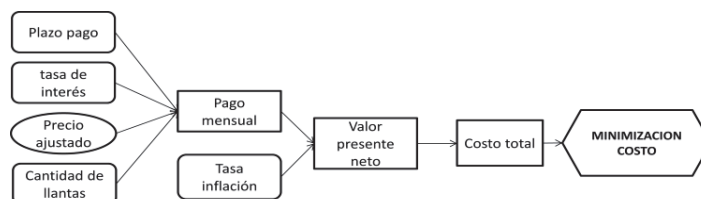


Figura no. 26: Influencia de los pagos a plazo a valor presente neto en la minimización del costo

Para evaluar el desempeño o eficiencia de las llantas, se relaciona la información concerniente a la evaluación (desempeño) del proveedor y el producto, la cantidad de llantas a adquirir y el precio unitario ajustado; en estas relaciones, los nodos determinísticos son las evaluaciones del proveedor y del producto y la cantidad de llantas, siendo un nodo de riesgo el precio unitario. De la relación evaluación del proveedor y precio unitario ajustado, surge un nodo determinístico, eficiencia del proveedor; de igual manera, al relacionar precio unitario ajustado y desempeño del producto surge un nodo de riesgo, eficiencia del producto el que al relacionarse con la cantidad de llantas y el precio unitario ajustado decidido, se obtiene la eficiencia del producto, el cual es un nodo de decisión y se representa en la figura no. 27

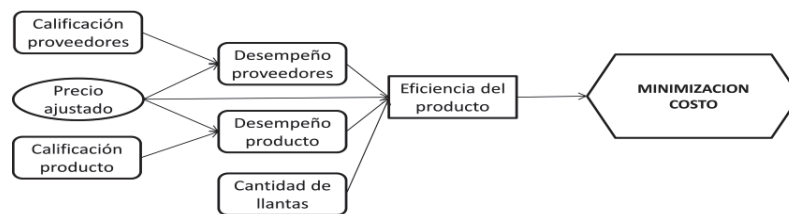


Figura no. 27: Influencia de la eficiencia del producto en la minimización del costo

Para evaluar el costo de oportunidad (disponibilidad), se relaciona la información concerniente a la utilidad promedio del viaje –nodo determinístico–, camiones con necesidad de llantas (unidades ociosas) –nodo determinístico– y la disponibilidad en días –nodo de decisión.

La disponibilidad en días, a su vez, relaciona la información sobre la disponibilidad del producto (nodo de riesgo), la calidad del proveedor la cual, a su vez relaciona la información de eficiencia del proveedor (nodo de riesgo), la ponderación del servicio (nodo de riesgo) y la evaluación del proveedor que es realizada sobre el precio unitario ajustado (nodo de riesgo) y la calidad del servicio (nodo determinístico), un valor auxiliar (nodo determinístico) y el desempeño del proveedor evaluado según la disponibilidad de días y el precio unitario ajustado. Esta decisión se representa en la figura no. 28

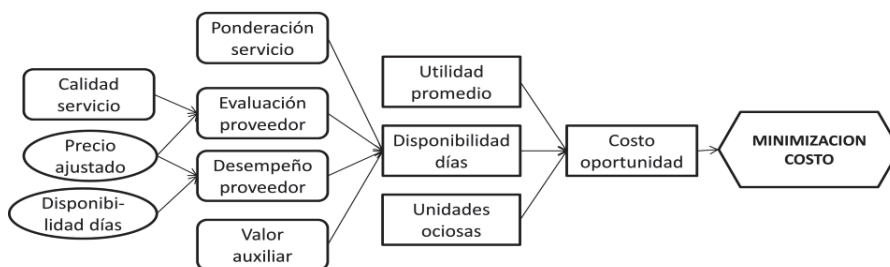


Figura no. 28: Influencia de la disponibilidad del producto en días en la minimización del costo

El último conjunto predecesor directo para la toma de decisiones, corresponde al precio del servicio adicional. Este servicio adicional corresponde a las válvulas, la alineación y el balanceo necesario para el cambio de las llantas gastadas por las nuevas adquiridas con el vendedor. Estos nodos son de riesgo y se representan en la figura no. 29.

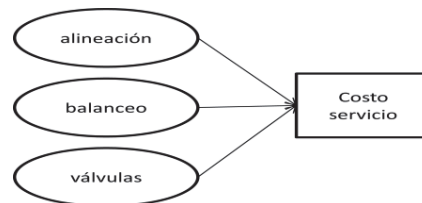


Figura no. 29: Influencia del costo de servicio en la minimización del costo

En la figura no. 30 se presenta el modelo maestro “Compra de llantas”, representado con el Diagrama de influencia donde son incluidos los nodos de decisiones “Costo total”, “Eficiencia del producto”, “Costo de oportunidad” y “Costo del servicio” donde pueden observarse los nodos de riesgo, determinísticos y sus relaciones así como su influencia en la minimización del costo.

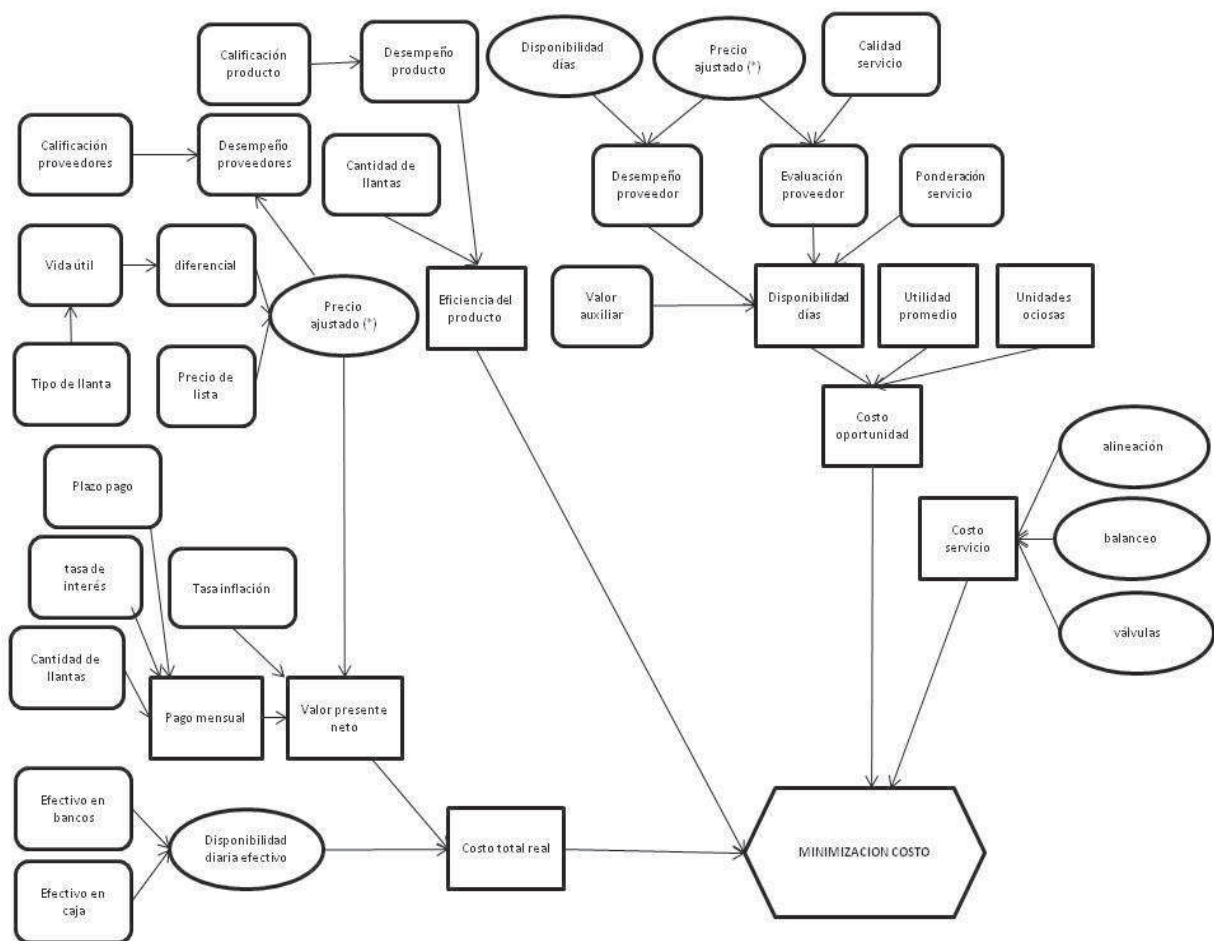


Figura no. 30: Modelo maestro “Compra de llantas”

3.1.3 Adquisición de nuevas unidades

En las situaciones de decisión a la cual se enfrentan la empresa transportistas, una muy importante se refiere a la posesión de unidades para dar el servicio de transportación. La problemática correspondiente, surge por la falta de estas ante nuevas solicitudes por lo cual, la empresa al no poder otorgar dicho servicio puede perder clientes y, en consecuencia ingresos.

Con la finalidad de poder cubrir tal demanda, la empresa requiere de analizar la factibilidad de adquirir unidades nuevas que le permitan maximizar las utilidades.

La decisión para la adquisición de unidades transportadoras que maximice la utilidad por la compra de unidades –tractocamión, semirremolque y/o remolque-, considera la información sobre los gastos erogados por concepto de fallas y retrasos en la entrega y el valor presente neto del proyecto. La influencia correspondiente se representan en la figura no. 31.

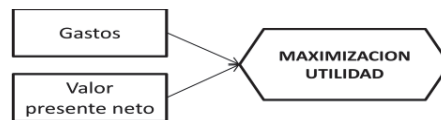


Figura no. 31: Influencia de la adquisición de unidades para el autotransporte en la maximización de la utilidad

La decisión del gasto, relaciona los factores costo del retraso y costo de la falla de la unidad. El costo del retraso se compone por los elementos de riesgo “plazo de entrega de la unidad” y determinístico “penalización por el retraso”. El plazo de entrega comprende, a su vez, de los elementos de riesgo disponibilidad de las unidades y días de retraso (figura no. 32).

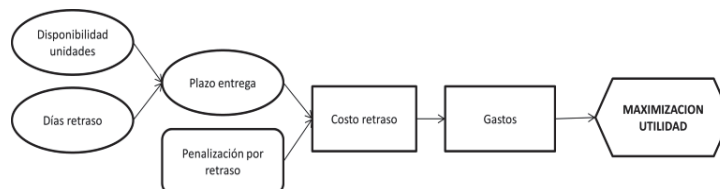


Figura no. 32: Influencia del costo de retraso en la maximización de la utilidad

El segundo factor vinculado al gasto es la falla de la unidad donde se enlaza información sobre la gravedad de la falla y la cantidad monetaria requerible ante tal evento; los nodos mencionados son considerados de riesgo y se representan en la figura no. 33.

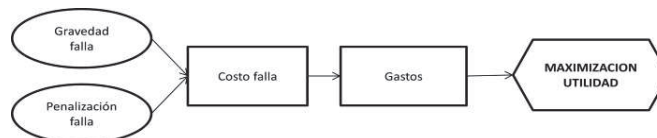


Figura no. 33: Influencia del costo de la falla en la maximización de la utilidad

En la figura no. 34, se presenta la composición del gasto.

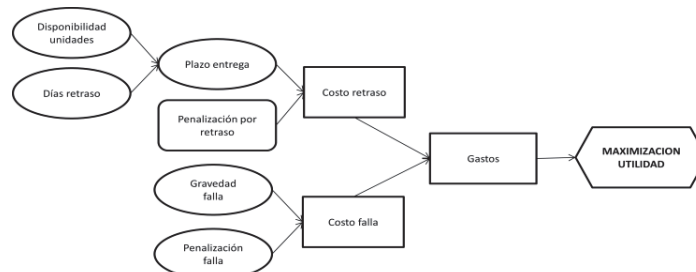


Figura no. 34: Influencia de los gastos por retrasos y fallas en la maximización de la utilidad

El segundo factor influyente en la maximización de utilidades es el valor presente neto del proyecto. Este segundo factor considera los elementos de riesgo “otorgamiento del crédito” y determinísticos “tasa de interés”, “enganche”, “precio de la unidad” y “valor futuro de la

inversión.” El elemento enganche a pagar por la unidad requiere de la información sobre el otorgamiento del crédito y el precio unitario de la unidad, representándose en la figura no. 35.

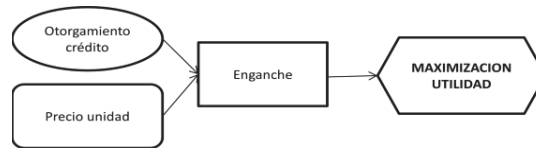


Figura no. 35: Influencia del enganche en la maximización de la utilidad

Los elementos que componen el valor futuro de la inversión son los elementos determinísticos, tasa de interés e importe mensual, y de riesgo, mensualidades por pagar. En la figura no. 36 son representados.

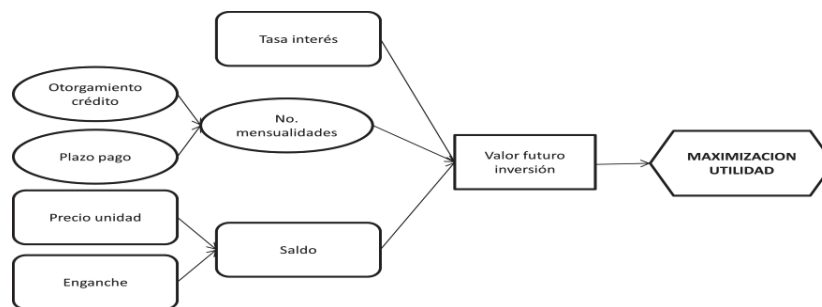


Figura no. 36: Influencia del valor futuro de la inversión en la maximización de la utilidad

En la figura no. 37 se presenta el modelo maestro “Adquisición de unidades”, representado con el Diagrama de influencia donde son incluidos los nodos de decisiones “Gastos”, y “Valor presente neto” donde pueden observarse los nodos de riesgo, determinísticos y sus relaciones así como su influencia en la maximización de la utilidad.

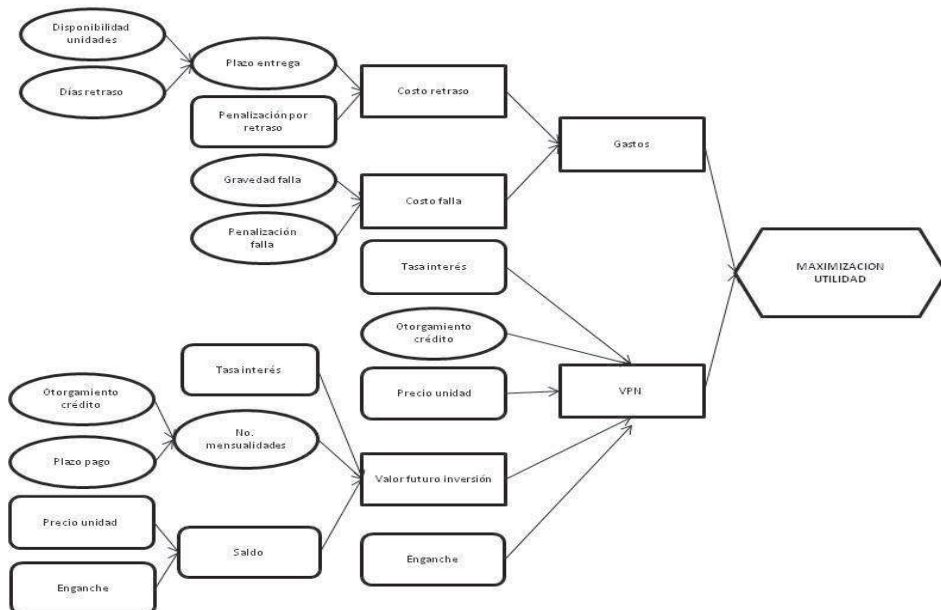


Figura no. 37: Modelo maestro “adquisición de unidades”

3.1.4 Contratación de operadores

Dada la ampliación de las unidades, la empresa enfrenta la necesidad de contratar nuevos operadores. Con el objetivo de realizar la óptima contratación de operadores, analiza varios factores los cuales considera como los más apropiados para evaluar a un candidato para operar las unidades, factores considerados como nodos de decisión y son Edad, Años de experiencia, Habilidad en el manejo, Test psicológico, Estado civil, Estudios terminados, Referencias personales, Antecedentes penales, Historial crediticio y Licencia de chofer vigente (figura no. 38).

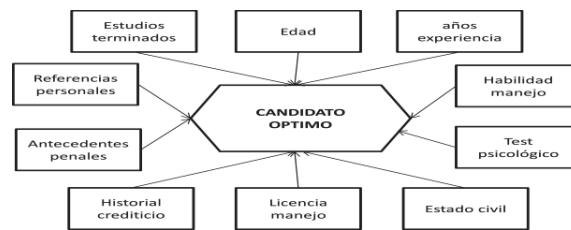


Figura no. 38: Influencia de factores cualitativos en la selección del candidato óptimo para operador

- 1) Edad. Este nodo de decisión es resultado de la calificación (nodo de riesgo) basado sobre rangos de edad de 18 a 55 años los cuales son ponderados (nodos determinísticos). La influencia es representada en la figura no. 39.

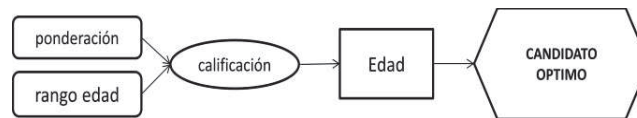


Figura no. 39: Influencia de la “edad” en la selección del candidato óptimo para operador

- 2) Años de experiencia. En este nodo, se considera el tiempo mínimo necesario de experiencia como operador. Para esto, se califican los años de experiencia, nodo de riesgo, considerando la calificación de la edad y validando los años de experiencia, nodos de riesgo. A su vez, se necesita la información sobre la ponderación de los rangos de los años de experiencia mismos que son de carácter determinístico (figura no. 40).



Figura no. 40: Influencia de los “años de experiencia” en la selección del candidato óptimo para operador

- 3) Habilidad en el manejo. En este nodo de decisión, se evalúa la habilidad del operador en el manejo de la unidad. Para esto, se considera la información concerniente a valor discreto con el cual se vincula la calidad de la experiencia, nodo determinístico, y la probabilidad de ocurrencia, nodo de riesgo, de esta cualidad (figura no. 41).

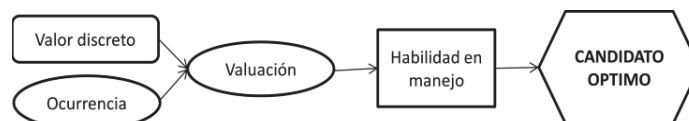


Figura no. 41: Influencia de la “habilidad en el manejo” en la selección del candidato óptimo para operador

- 4) Test psicológico. En este nodo de decisión, se evalúa la prueba psicológica del operador. Para esto, se considera la información concerniente a valor discreto con el cual se vincula la calidad de la prueba, nodo determinístico, y la probabilidad de ocurrencia, nodo de riesgo, de esta cualidad (figura no. 42).

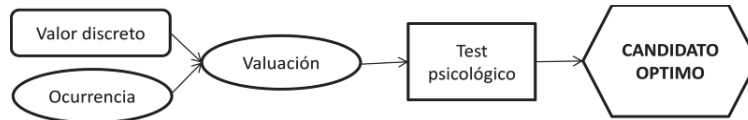


Figura no. 42: Influencia del “test psicológico” en la selección del candidato óptimo para operador

- 5) Estado civil. En este nodo de decisión, se evalúa el estado civil del operador. Para esto, se considera la información concerniente a valor discreto con el cual se vincula la calidad del estado civil, nodo determinístico, y la probabilidad de ocurrencia, nodo de riesgo, de esta cualidad (figura no. 43).

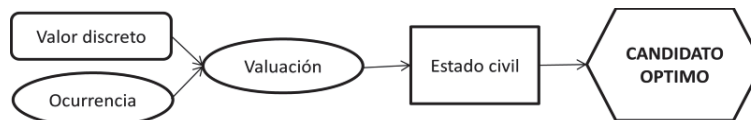


Figura no. 43: Influencia del “Estado civil” en la selección del candidato óptimo para operador

- 6) Estudios terminados. En este nodo de decisión se representa el nivel de escolaridad máxima de los candidatos para operador. Para esto, se considera la información concerniente a valor discreto con el cual se vincula la calidad de los estudios terminados, nodo determinístico, y la probabilidad de ocurrencia, nodo de riesgo, de esta cualidad (figura no. 44).

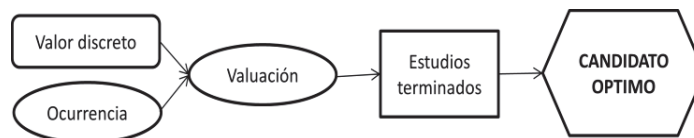


Figura no. 44: Influencia del “Nivel de estudios” en la selección del candidato óptimo para operador

- 7) Referencias personales. En este nodo de decisión se representan las referencias personales de los candidatos para operador. Para esto, se considera la información concerniente a valor discreto con el cual se vincula la calidad de las referencias personales, nodo determinístico, y la probabilidad de ocurrencia, nodo de riesgo, de esta cualidad (figura no. 45).

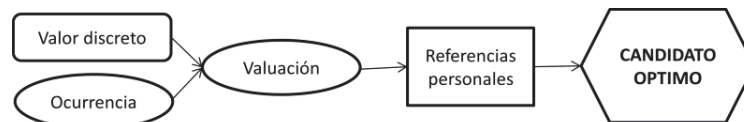


Figura no. 45: Influencia del “Referencias personales” en la selección del candidato óptimo para operador

- 8) Antecedentes penales. En este nodo se califica la información que indica la existencia de precedentes legales del candidato. Para esto, se considera la información concerniente a valor discreto con el cual se vincula la calidad de los antecedentes penales, nodo

determinístico, y la probabilidad de ocurrencia, nodo de riesgo, de esta cualidad (figura no. 46).

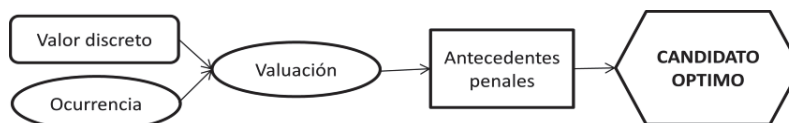


Figura no. 46: Influencia de los “Antecedentes penales” en la selección del candidato óptimo para operador

- 9) **Historial crediticio.** En este nodo se califica la información acerca de la solvencia con las instituciones crediticias. Para esto, se pondera y valúa la información correspondiente. La valuación, considera la información concerniente a valor discreto con el cual se vincula la calidad del historial crediticio, nodo determinístico, y la probabilidad de ocurrencia, nodo de riesgo, de esta cualidad a valor discreto (figura no. 47).

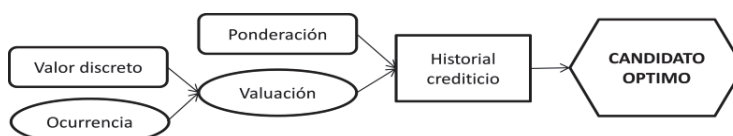


Figura no. 47: Influencia del “Historial crediticio” en la selección del candidato óptimo para operador

- 10) **Licencia de chofer vigente.** En este nodo se califica la información acerca de la vigencia de la licencia de chofer. Para esto, se pondera y valúa la información correspondiente. La valuación, considera la información concerniente a valor discreto con el cual se vincula la calidad de la licencia de manejo, nodo determinístico, y la probabilidad de ocurrencia, nodo de riesgo, de esta cualidad a valor discreto (figura no. 48).

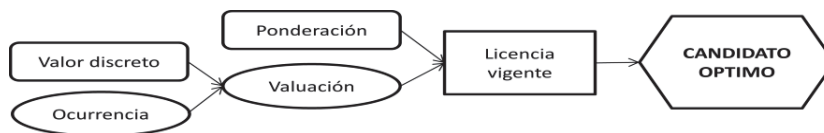


Figura no. 48: Influencia de la “Licencia vigente” en la selección del candidato óptimo para operador

En la figura no. 49 se presenta el modelo maestro “Candidato óptimo”, representado con el Diagrama de influencia donde son incluidos los nodos de decisiones a cada uno de las cualidades analizadas donde pueden observarse los nodos de riesgo, determinísticos y sus relaciones así como su influencia en la selección del candidato óptimo.

3.2 El metamodelo

El metamodelo de decisión es representado con un diagrama de flujo el cual determina los elementos del modelo maestro que forman parte del modelo para la situación particular que se enfrenta. En su diseño, simplemente se contestan preguntas acerca de las características de la situación real en la cual se desea tomar la decisión y el diagrama indica los elementos del modelo maestro (decisiones, eventos inciertos, relaciones entre ellos) que se activan o desactivan. Al término del diagrama, se genera un modelo de decisión que corresponde a la situación particular, y se procede a obtener la información necesaria para evaluarlo. En la figura no. 50, se presenta el metamodelo “Asignación de viajes”, la figura no. 51 es el metamodelo “Compra de llantas”, la

figura no. 52 corresponde al metamodelo “Adquisición de unidades” y la figura no. 53 concierne al metamodelo “Contratación de operadores”.

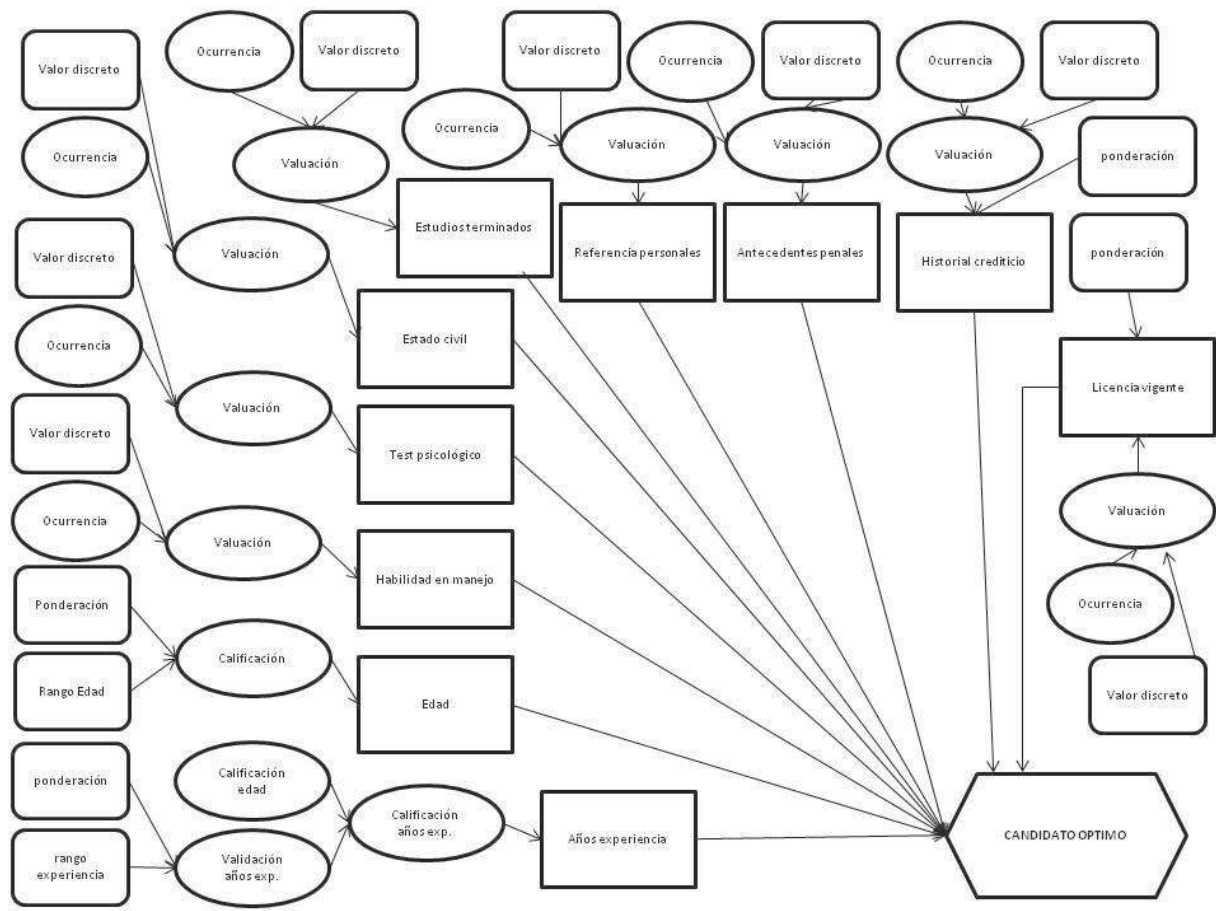


Figura no. 49: Modelo maestro “Contratación de operador”

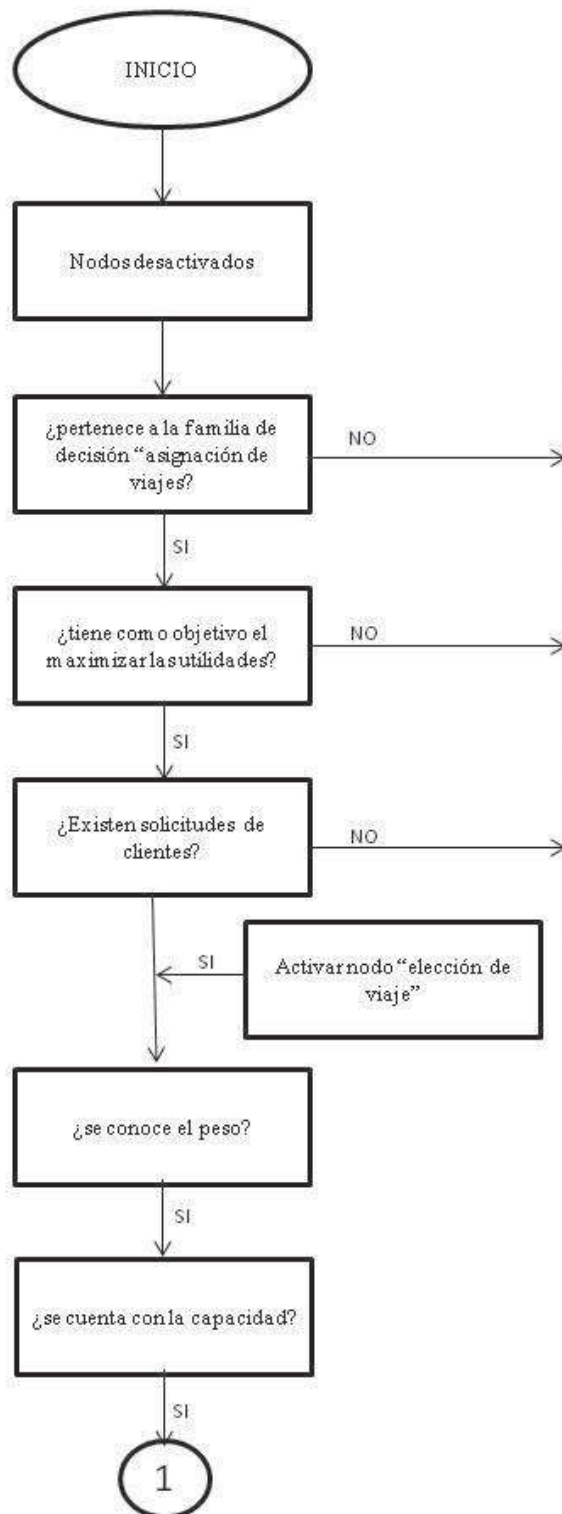


Figura no. 50a: Metamodelo Asignación de viajes

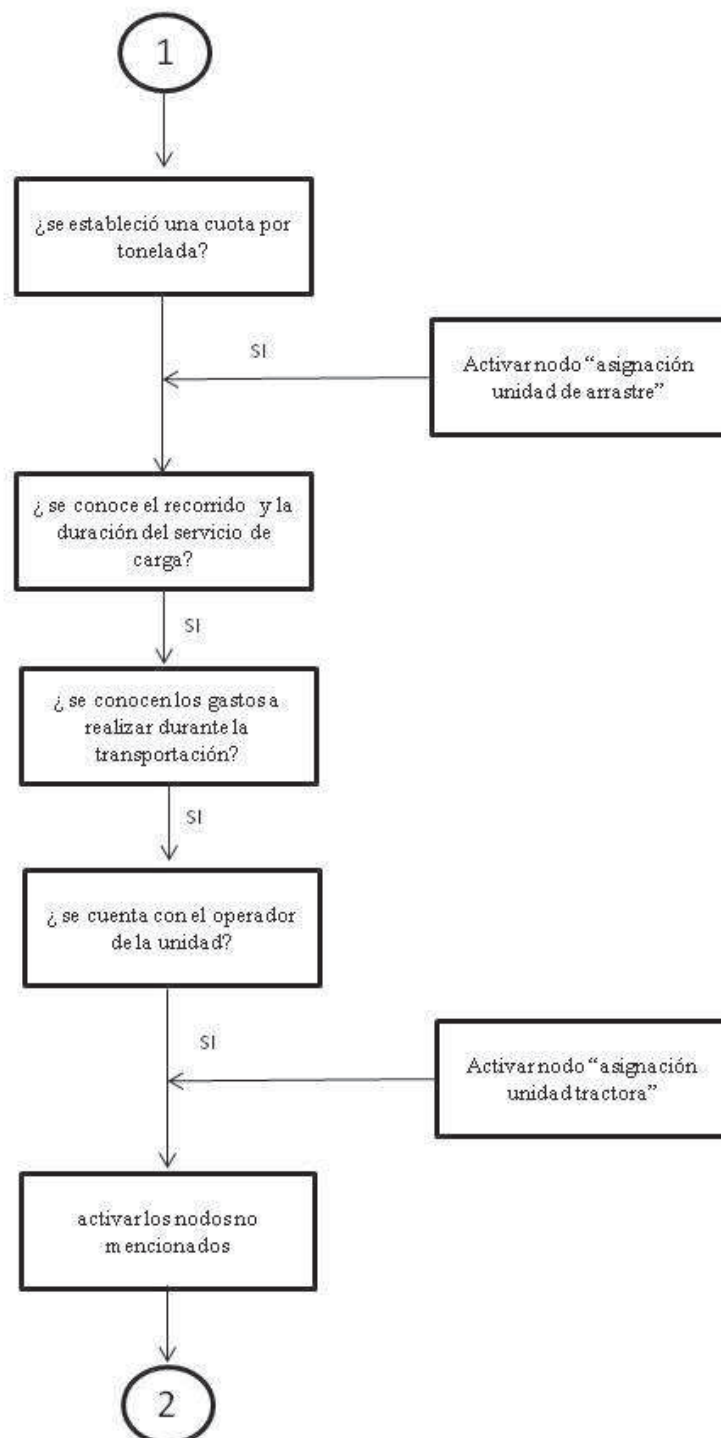


Figura no. 50b: Metamodelo Asignación de viajes



Figura no. 50c: Metamodelo Asignación de viajes



Figura no. 51a: Metamodelo Compra de llantas

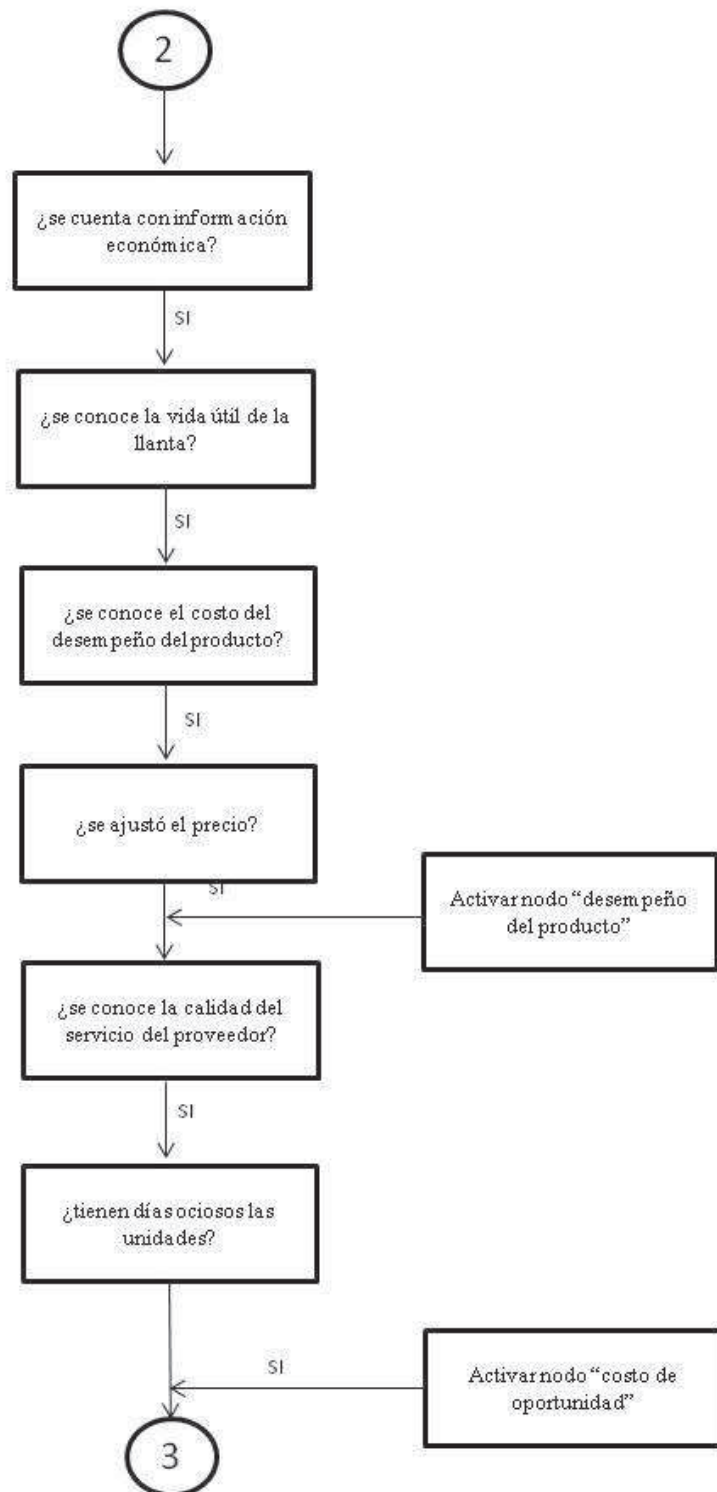


Figura no. 51b: Metamodelo Compra de llantas

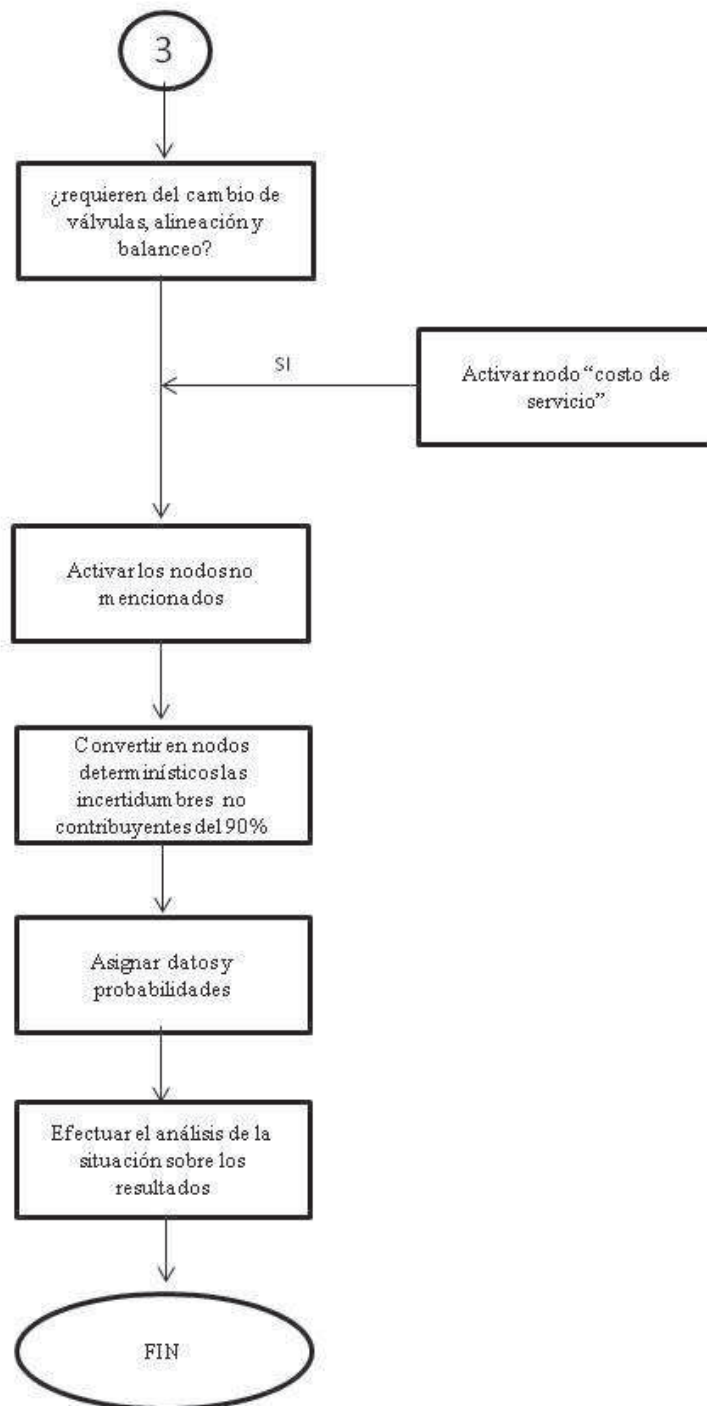


Figura no. 51c: Metamodelo Compra de llantas

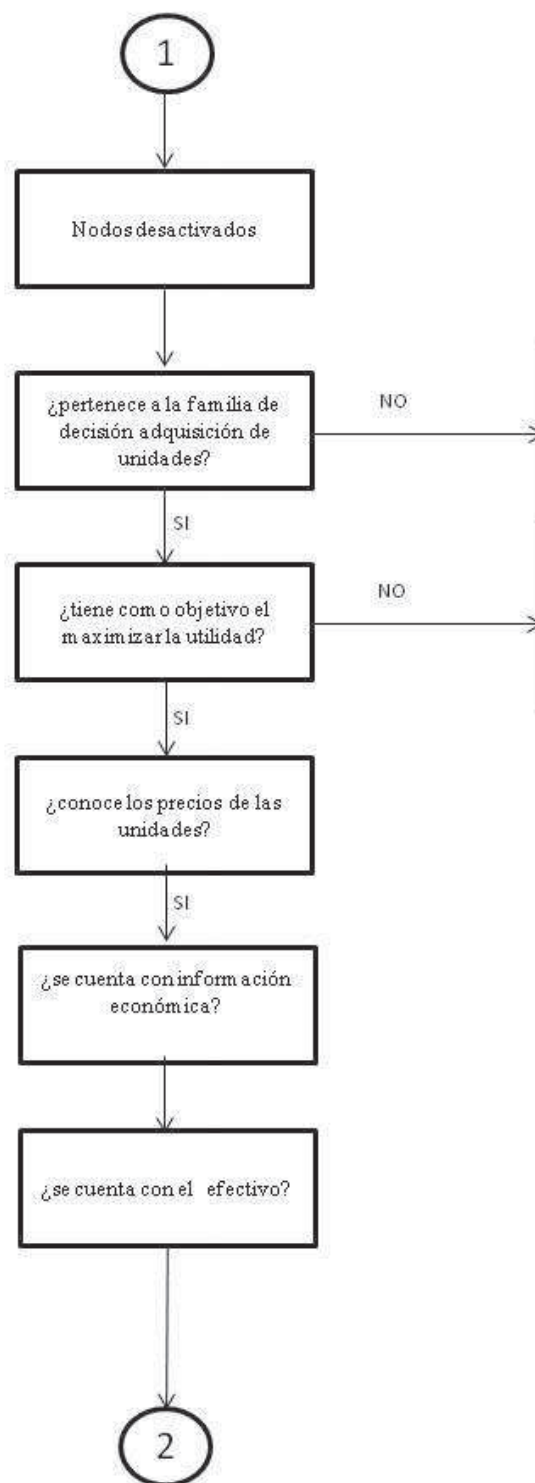


Figura no. 52a: Metamodelo Adquisición de unidades

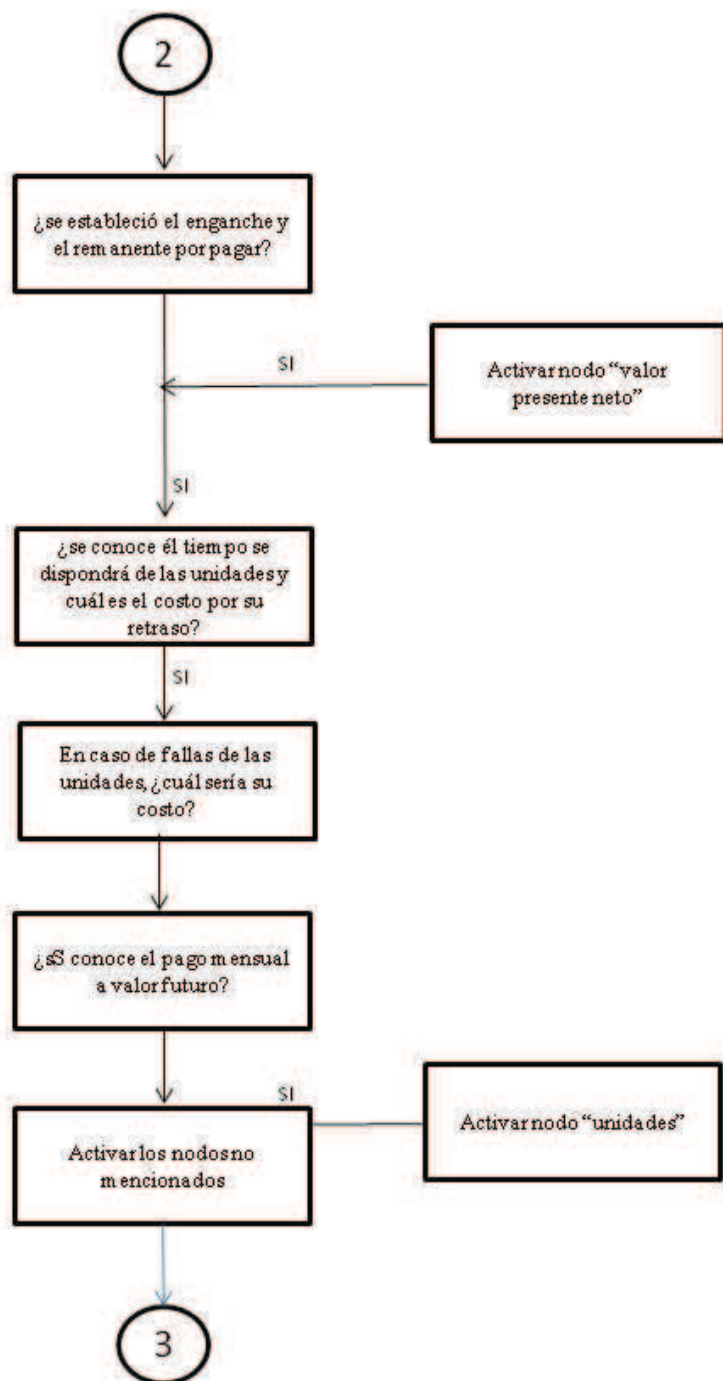


Figura no. 52b: Metamodelo Adquisición de unidades

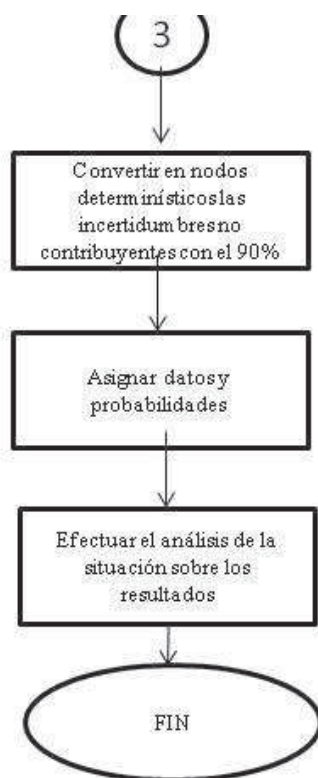


Figura no. 52c: Metamodelo Adquisición de unidades

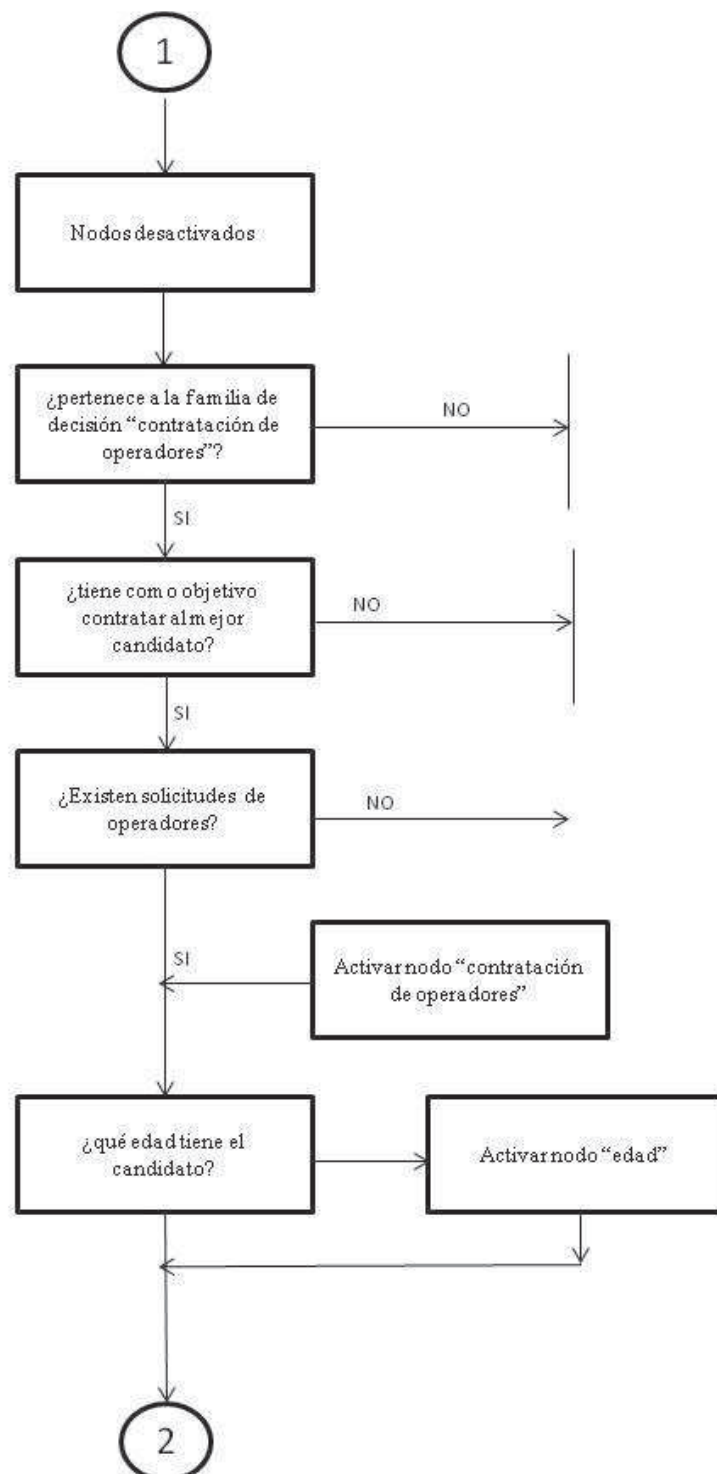


Figura no. 53a: Metamodelo Contratación de operadores

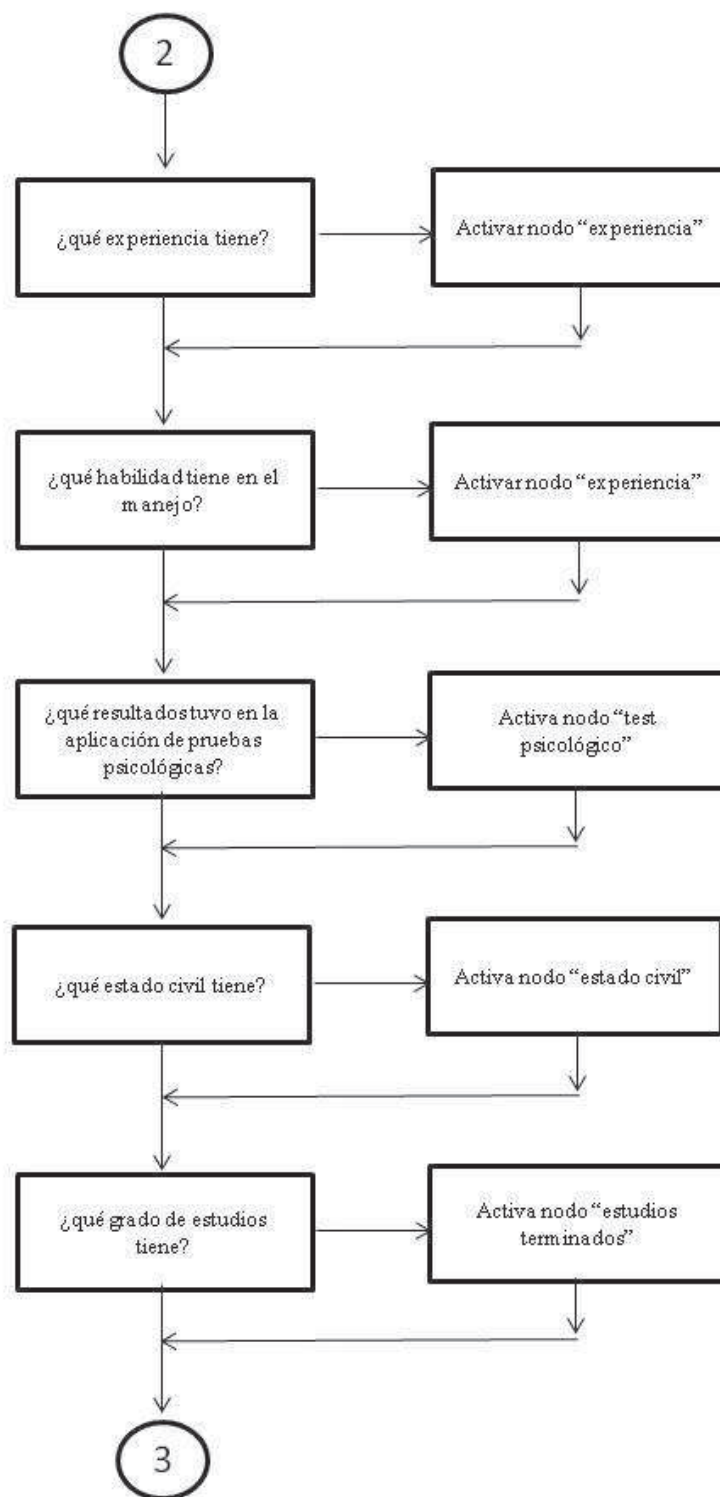


Figura no. 53b: Metamodelo Contratación de operadores

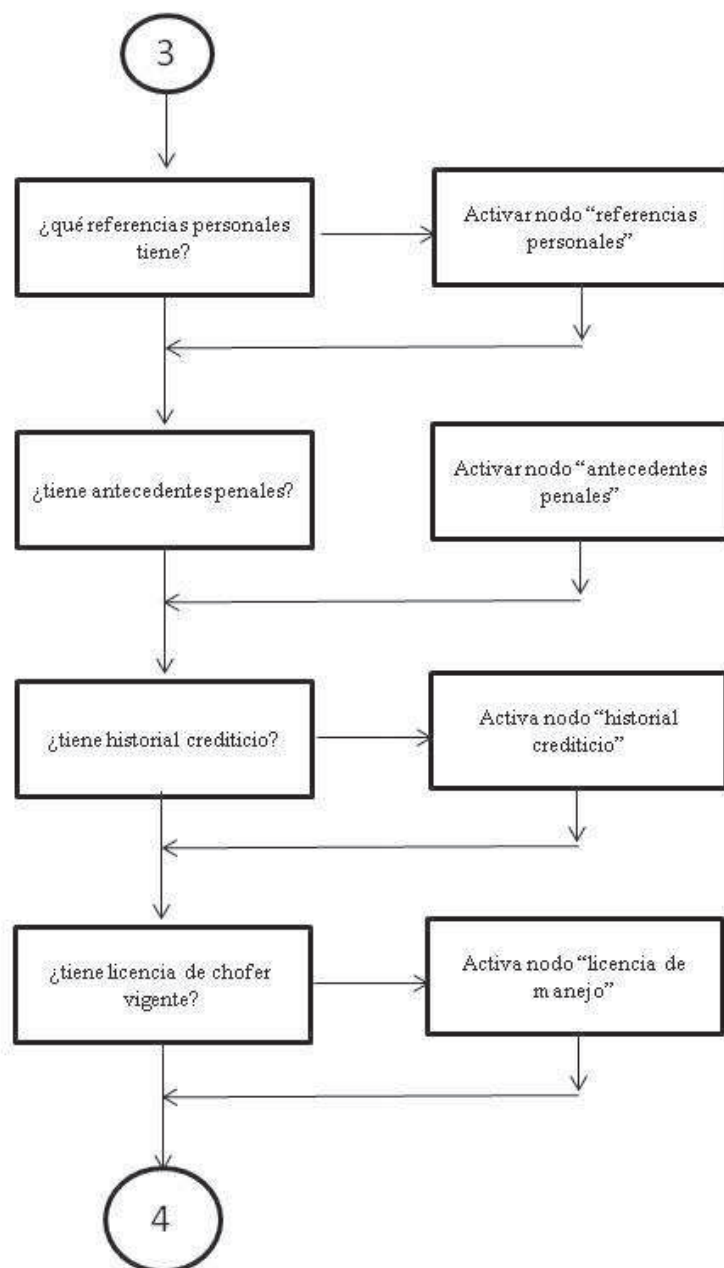


Figura no. 53c: Metamodelo Contratación de operadores

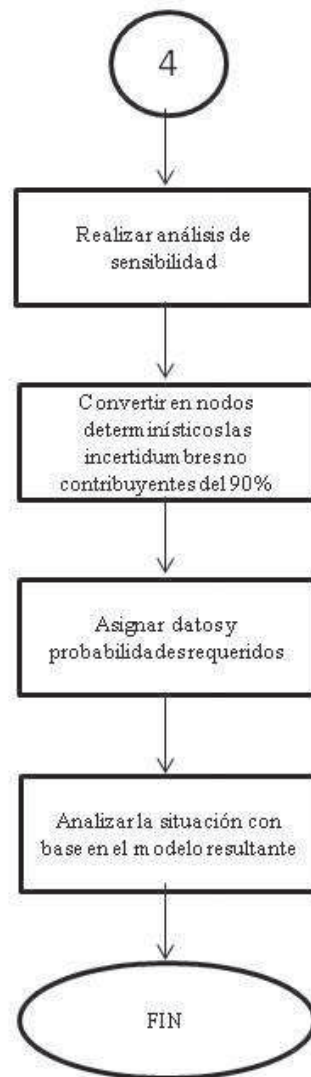


Figura no. 53d: Metamodelo Contratación de operadores

CAPITULO 4:
APLICACIÓN DE
LOS MODELOS DE
DECISION
MULTICRITERIO EN
LA EMPRESA DE
TRANSPORTE

Capítulo 4 Aplicación de los modelos de decisión multicriterio en la empresa de transporte

La gestión logística adecuada al movimiento externo de carga por parte de una empresa independiente exige la recepción y entrega final al cliente con la máxima satisfacción al mínimo costo lo cual supone más de una decisión en conflicto y varias alternativas de solución.

En el presente capítulo, se aplican los modelos para la toma de decisiones múltiples el cual contempla las características de atributo, objetivo, nivel de aspiración, metas y criterios, con el cual se optimicen la elección del viaje y la adquisición de nuevas unidades así como sean simuladas la compra de llantas y la contratación de operadores, buscando el logro del objetivo principal de maximización de las utilidades, mismo que comprende la minimización de los costos totales y de oportunidad. Finalmente, la importancia del proceso mencionado dentro de la logística implica la sincronización de las actividades en cada una de las etapas, desde la selección de los viajes y su correspondiente asignación de unidades hasta el término del servicio.

4.1 Caso de estudio: Empresa transportista de la región Orizaba – Córdoba

La empresa transportista se enfrenta a una múltiple toma de decisiones para responder la solicitud del servicio de transportación de carga entre las cuales se comprende a los factores de ingresos y costos así como la disponibilidad de las unidades para proporcionar un servicio de transportación de carga. Ante el desgaste y la escasez de recursos para ofrecer el servicio es necesario analizar la factibilidad de la adquisición de refacciones y unidades las cuales ocasionan contratar operadores.

La exigencia del ambiente dinámico y competitivo global de mayor eficacia en la adquisición de los bienes necesarios para la autotransportación de carga, puede ocasionar una decisión no coordinada de decisiones, ineficiencias operativas, costos más altos y, como consecuencia, la erosión de las ventas, menores márgenes de beneficio y disminución de los clientes. Por esto, las empresas transportistas buscan mejorar los procesos al asignar las unidades a los clientes que representen la mejor opción, en el suministro ágil de las refacciones como apoyo a la sincronización de las operaciones del autotransporte y el mantenimiento de las unidades de manera eficiente, eficaz y a menor costo, así como contar con las unidades suficientes para proporcionar el servicio y los operadores de las unidades transportadoras.

La toma de decisiones para la elección del viaje inicia con la demanda del servicio de transportación de carga que proporciona información acerca del peso aproximado de la carga a desplazar para que la empresa transportista fije la cuota por tonelada correspondiente. De esta forma, la empresa fija el precio total para el viaje y asigna la unidad de arrastre, semirremolque o remolque, de acuerdo al peso de la carga y al mejor ingreso. Por último, la empresa asigna la unidad tractora o camión considerando los costos en que se incurre durante la travesía o recorrido de la unidad para cubrir el viaje de ida y vuelta.

Una toma de decisiones razonable requiere de varios escenarios a los cuales se les determine y asigne un grado de riesgo para poder calcular un resultado esperado. Al enfrentar la

incertidumbre puede no reaccionarse bien dentro de un ambiente económico pudiendo perder el objetivo por la falta de información sobre el entorno o Gradualismo (Brainard, 1967).

Los modelos propuestos de decisión se validan con una empresa transportista, cuyo nombre se reserva, considerando la atención de su actual demanda con recursos limitados. Su planta vehicular se compone de seis tractocamiones Kenworth de 3 ejes, siete semirremolques compuestos por seis jaulas y una caja, tres remolques (dos jaulas y una caja), estos últimos de 2 ejes, y seis operadores, siendo la principal carga productos agrícolas y mercancía en general; tienen como punto de partida la ciudad de Orizaba, Ver. Dicha infraestructura se describe a continuación.

a) Tractocamiones o unidades tractivas (Cuadro no. 6):

No. unidad	Descripción
1	Tracto camión Kenworth modelo 2007.
2	Tracto camión Kenworth modelo 2005.
3	Tracto camión Kenworth modelo 2000.
4	Tracto camión Kenworth modelo 1995.
5	Tracto camión Kenworth modelo 1992.
6	Tracto camión Kenworth modelo 1987.

Cuadro no. 6: Relación de unidades tractoras

b) Unidades de arrastre con capacidad para transportar 30 toneladas:

- Semirremolques (cuadro no. 7):

No. unidad	Descripción
1	Jaula Ferbus, modelo 2006.
2	Jaula Corpus Christi, modelo 2004.
3	Caja Larrinaga, modelo 2004.
4	Jaula 3M, modelo 2001.
5	Jaula Traimobile, modelo 1994.
6	Jaula Lughrem, modelo 1992.
7	Jaula Igga, modelo 1987.

Cuadro no. 7: Relación de unidades de semirremolque

- Remolques con capacidad para transportar 50 toneladas (cuadro no. 8):

No. unidad	Descripción
1	Jaula Ferbus, modelo 2005.
2	Jaula Corpus Christi, modelo 2004.
3	Caja Larrinaga, modelo 2000.

Cuadro no. 8: Relación de unidades de remolque

c) Operadores de las unidades (cuadro no. 9):

No. operador	Nombre
1	Operador A
2	Operador B
3	Operador C
4	Operador D
5	Operador E
6	Operador F

Cuadro no. 9: Relación de operadores de las unidades tractoras

4.2 Optimización de la asignación del viaje a través de un Algoritmo genético

La modelación del ruteo vehicular con técnicas heurísticas, las propias de la experiencia del transportista y la proyección determinística no han tenido la flexibilidad suficiente en su tratamiento pues ante el comportamiento probabilístico de algunos de sus componentes, al ser modificados, pueden afectar en cadena a todo el sistema guiando los cambios múltiples hacia grandes mejoras en las aptitudes lo cual motiva el empleo de una herramienta de Inteligencia Artificial, como el Algoritmo Genético, el cual permita diseñar un sistema más robusto y obtener una mayor cantidad de soluciones de manera exhaustiva y rápida ante tales modificaciones. Ante la complejidad en la toma de decisiones en la empresa transportista, el AG tiene la capacidad de adaptarse a dicha complejidad donde la función objetivo puede cambiar con la existencia de muchos óptimos locales; asimismo, tiene la habilidad en el manejo de muchos parámetros en forma simultánea pues al explorar el espacio de soluciones hacia muchas direcciones, o paralelismo, produce soluciones múltiples donde cada una de ellas optimiza un parámetro distinto hasta su último punto de mejora.

La empresa transportadora, para generar utilidades realiza los viajes de transportación de carga que proporcionan ingresos. Para efectuar el viaje de transportación, la empresa requiere de un tractocamión y la unidad de arrastre, ya sea remolque o semirremolque. La decisión de la asignación de un semirremolque o un remolque depende del peso de la carga y la disponibilidad de la unidad en buen estado. Ante el problema de la demanda de viajes con recursos limitados, la empresa toma la decisión de asignar una unidad a un viaje, que incluya, el tractocamión y un componente de arrastre, semirremolque o remolque. Esta validación corresponde al modelo maestro “Asignación de las unidades” que se muestra en la figura no. 24 de la página 58 dentro del cual se expresa la relación entre la elección del viaje y las asignaciones de la unidad de arrastre y la unidad tractora o tractocamión.

La optimización de la elección de viajes, se efectúa en dos pasos; en el primero de ellos, se elige la unidad de arrastre y se define el viaje de transportación de carga tomando en cuenta el ingreso y el peso de la carga.

Asignadas las unidades de arrastre, remolque o semirremolque, en el segundo paso se busca optimizar las utilidades a través de la asignación de las unidades tractoras a los viajes óptimos considerando los costos en los cuales se incurre en el desplazamiento del viaje.

4.2.1 Asignación de la unidad de arrastre

La empresa, ante cada solicitud de viaje considera el peso en tonelada al cual le tasa con una cuota por tonelada y le asigna la unidad de arrastre, ya sea remolque o semirremolque.

El ingreso es el resultado de la cuota por tonelada y el peso de la carga a transportar en el viaje al cual le será asignado la unidad de arrastre. Para esto, el modelo matemático se expresa a través de una función objetivo la cual representa los ingresos determinados por los viajes de carga a realizar sujetos a las restricciones impuestas por los recursos de la empresa, tales como el tractocamión, el semirremolque y el remolque.

Los recursos mencionados en el inciso anterior, son la totalidad con los que cuenta la empresa; sin embargo, en la aplicación del modelo matemático para la asignación de unidades de arrastre, y debido a la dinámica en la utilización de los recursos, usualmente la empresa en el momento de tomar una decisión, no cuenta con todos los recursos disponibles ya que pueden estar en mantenimiento o en servicio de transportación. En este caso, para demostrar la aplicación del modelo matemático se considera la disponibilidad de 4 tractocamiones, 5 semirremolques y 3 remolques, con los cuales se cuentan para cubrir una demanda de transportación de carga correspondiente a 6 viajes cuyas características son la de tener distintos pesos, rutas y distancias a recorrer en el desplazamiento de la carga.

La aplicación del Algoritmo Genético en esta problemática, a diferencia del manejo del problema con Programación Lineal, obedece a la necesidad de representar la demanda a través de distribuciones normales, lo cual puede modificar los resultados y así, encontrar la mejor solución a un problema con muchas soluciones posibles.

El lenguaje utilizado en la biología, es retomado por la metodología matemática por lo cual, el conjunto de soluciones de un problema es un *fenotipo* (cadena de bits que codifica una red neuronal, y la red en sí misma); la información determinante de cada individuo es el *cromosoma* (candidato a la solución del problema). Si la información es rescrita en forma binaria y de cadena, se le nombra *genotipo* y los componentes de esta cadena son conocidos como *gen* (codificador de un elemento particular del candidato a solución). La reiterada combinación de los cromosomas arroja las *generaciones* o *descendencia*. El paso de una generación a otra, aplica una serie de operadores genéticos tales como son los operadores de selección, cruce, copia y mutación.

Los algoritmos de selección escogen a los individuos para su reproducción o los rechaza; en esta tesis, se realiza una selección probabilística con la ruleta de Goldberg la cual consiste en crear una ruleta donde cada cromosoma tenga asignada una fracción proporcional de acuerdo a su aptitud. Seleccionados los individuos, se recombinan o cruzan para producir la descendencia que se insertará en la siguiente generación basada sobre dos individuos correctamente adaptados al medio de los cuales se obtiene una descendencia que comparte genes, mismos que posiblemente sean heredados y causen la bondad de los padres.

El operador genético de la mutación de un individuo ocasiona que alguno de sus genes, generalmente uno sólo, varíe su valor de forma aleatoria; la mutación se puede utilizar de manera conjunta con el operador de cruce: primero son seleccionados dos individuos de la población para realizar el cruce. Si el cruce es exitoso en uno de los descendientes, o ambos, se mutan con cierta probabilidad; esta se realiza para garantizar la inexistencia de un punto en el espacio de búsqueda con una probabilidad nula de ser examinado. La probabilidad de mutación es muy baja pues los individuos tienen un menor ajuste una vez mutados; sin embargo consiste en variar aleatoriamente un gen de un cromosoma.

En la solución del problema, se recurre a un algoritmo genético comercial llamado RISKOptimizer que permite manejar parámetros ciertos o deterministas así como inciertos o de riesgo los cuales se representan con distribuciones de probabilidad, que dan tanto el rango de

valores que la variable puede tomar (mínimo a máximo) y la probabilidad de ocurrencia de cada valor dentro del rango.

El primer paso a realizar para la elección de los viajes, consiste en determinar la primera generación o solución básica factible inicial donde se comprendan los elementos cuota por tonelada, peso de la carga y se asignen las unidades transportadoras, de la cual y a través de su reiterada combinación, se determinarán los viajes de carga óptimos.

Como se comentó anteriormente, la transportadora fija una cuota por tonelada ante la demanda del viaje de carga y le asigna la unidad de arrastre, ya sea un remolque o un semirremolque, y un tractocamión.

Para la asignación de las unidades mencionadas, es importante el establecimiento de una política de asignación por la cual se determinen las unidades, ya sea semirremolque o remolque según el peso de la carga.

Los semirremolques se asignan a cargas cuyo peso máximo sea hasta 60 toneladas bajo la característica de asignar un semirremolque a una carga cuyo peso máximo sea de 30 toneladas o, en caso de exceder dicho peso, se asignan hasta dos semirremolques para la carga con peso máximo de 60 toneladas.

La asignación de remolques se realiza cuando el peso de la carga no exceda las 50 toneladas y se rechaza la asignación de remolques a las cargas que excedan dicho peso.

Para este ejemplo se aplican las políticas de asignación de las unidades de arrastre antes mencionadas para determinar la solución inicial de asignación de remolques y semirremolques. En el cuadro no. 10, se representa la primera generación o solución básica factible inicial de asignación de las unidades de arrastre. Para la asignación se plantean dos opciones. En la primera opción, se asigna el semirremolque a los viajes cuyo peso de la carga sea menor a 30 toneladas, como es el caso de los viajes de transportación de carga nos. 1, 3 y 5, y dos semirremolques a los viajes con carga entre 31 y 60 toneladas como sucede con los viajes nos. 2, 4 y 6.

La asignación de remolques, segunda opción, el peso de la carga no debe exceder las 50 toneladas por lo que puede ser asignado a los viajes nos. 1, 2, 3, 5 y 6.

	VIAJE						REQUERIDO	DISPONIBLE
	1	2	3	4	5	6		
CUOTA POR TONELADA	1250	850	1450	850	800	1300		
PESO CARGA	DN(17,2)	DN(42,2)	DN(26,2)	DN(60,2)	DN(30,2)	DN(35,2)		
OPCIÓN 1								
SEMIRREMOLQUE	1	2	1	2	1	2	9	5
OPCIÓN 2								
REMOLQUE	1	1	1	0	1	1	5	3

Cuadro no. 10: Primera generación o solución básica factible inicial

Cada viaje de carga tiene asignada la unidad tractora y de arrastre cuya representación se presenta en el cuadro no. 11 y la terminología es la siguiente:

Sea:

$S_1, \dots, S_6$: Número de semirremolques asignados al viaje 1, ..., 6

$R_1, \dots, R_6$: Número de remolques asignados al viaje 1, ..., 6

$T_1, \dots, T_6$: Número de tractocamiones asignados al viaje 1, ..., 6

	VIAJE (j)					
	1	2	3	4	5	6
SEMIREMOLQUE	S1	S2	S3	S4	S5	S6
REMOLQUE	R1	R2	R3	R4	R5	R6
TRACTOCAMIÓN	T1	T2	T3	T4	T5	T6

Cuadro no. 11: Asignación de unidades

El modelo matemático del ingreso (I), considera las cuotas por tonelada (C_u), el peso de la carga (P) y el tractocamión (ver ecuación no. 1) y se establecen las restricciones a las cuales se sujeta tales como son la disponibilidad de las unidades, las unidades requeridas (semirremolques, remolques y tractocamiones), no enviar remolque y semirremolque en el mismo viaje y la restricción lógica de números enteros.

La **restricción de disponibilidad de unidades**, ver el cuadro no. 10, considera realizar el viaje de carga con un tractocamión y un semirremolque en una cantidad de estos igual o menor a 5; o un tractocamión con un remolque en cantidad igual o menor a 3 remolques. Los tractocamiones pueden ser igual o menor a 4 (ver ecuaciones nos. 2 a 4).

Otras restricciones, con arreglo a las políticas anteriormente establecidas, se compone por la cantidad de semirremolques, remolques y tractocamiones requeridos para el viaje, ver el cuadro no. 10. La **restricción de los semirremolques** requeridos establece la cantidad de estos que pueden ser asignados a cada viaje (ver ecuación no. 5). Las **restricciones** correspondientes a los **remolques** requeridos indica la cantidad de estos que pueden ser asignados a cada viaje (ver ecuaciones nos. 6 a 11). La **restricción de tractocamiones** que pueden ser asignados a cada viaje, se presenta en la ecuación no. 12.

Se establecen **restricciones de no enviar semirremolques y remolques** al mismo viaje de transportación (ver ecuación no. 13).

La **restricción lógica**, especifica que las variables deben ser números enteros (ver ecuación no. 14).

Así,

$$\text{Maximizar } I = \sum_{j=1}^6 C_{u_j} p_j T_j \quad (1)$$

Donde I es el ingreso, C_u es la cuota por tonelada, p el peso, T el tractocamión y j el viaje a realizar.

Sujeta a las restricciones:

- Disponibilidad de semirremolques:

$$\sum_{j=1}^6 T_j S_j \leq 5 \quad (2)$$

- Disponibilidad de remolques:

$$\sum_{j=1}^6 T_j R_j \leq 3 \quad (3)$$

- Disponibilidad de tractocamión:

$$\sum_{j=1}^6 T_j \leq 4 \quad (4)$$

- Semiremolques requeridos en el viaje j (máximo 2):

$$S_j \leq 2 \quad (5)$$

- Remolques requeridos para el viaje j :

$$R_1 \leq 1 \quad (6)$$

$$R_2 \leq 1 \quad (7)$$

$$R_3 \leq 1 \quad (8)$$

$$R_4 \leq 0 \quad (9)$$

$$R_5 \leq 1 \quad (10)$$

$$R_6 \leq 1 \quad (11)$$

- Tractocamiones requeridos para el viaje j:

$$T_j \leq 1 \quad (12)$$

- No envío semirremolque y remolque:

$$\sum_{j=1}^6 S_j R_j = 0 \quad (13)$$

- Lógica:

$$\text{Todas las variables } V_n, S_n, R_n, T_n \text{ son enteras} \quad (14)$$

Dado que el modelo matemático se optimiza con el algoritmo genético RISKOptimizer, se configura este para que el resultado sea la maximización, emplee la media estadística, y se conserve la configuración original de la tasa de cruzamiento del 0.5 la cual permite que el organismo embrión presente el 50% de sus valores de variables de un padre y el restante del otro progenitor.

La tasa de mutación establecida de 0.1 permite generar escenarios aleatorios pues la mutación se sucede después del cruce y una mayor tasa impide efectos del cruce.

El tamaño de la población establece el almacenamiento de los conjuntos totales de variables en la memoria la cual se establece en 50 y así puede obtenerse la solución en menor tiempo.

Cada iteración del proceso recibe el nombre de generación, la cual se establece en 500 veces para cada solución de pruebas deteniéndose en el caso de incumplimiento de alguna restricción. El conjunto completo de generaciones es una serie que, al concluir, a menudo se ubican entre la población uno o más cromosomas con elevada capacidad. Las restricciones son definidas como “duras” pues deben ser cumplidas.

Análisis de los resultados de la optimización de los ingresos por la asignación de los semirremolques y remolques a los viajes de carga

Resultado de la optimización con Algoritmo Genético para maximizar el ingreso, se establecieron la función objetivo y las restricciones del modelo matemático para asignar las unidades de arrastre a los viajes generadores de ingresos óptimos. Así, se observa la conveniencia de asignar al viaje no. 2 con dos semirremolques, al viaje no. 3 con un remolque, al viaje no. 4 con dos semirremolques y al viaje no. 6 con un semirremolque, que reditúan un ingreso total de \$169,900.00, sujetas a las restricciones instruidas (cuadro no. 12).

VIAJE NO.	1	2	3	4	5	6	OPTIMO
INGRESOS	21250	35700	37700	51000	24000	45500	169900
SEMIREMOLQUE	0	2	0	2	0	1	
REMOLQUE	0	0	1	0	0	0	
TRACTOCAMIÓN	0	1	1	1	0	1	

Cuadro no. 12: Asignación óptima de unidades de arrastre

Este modelo matemático determina en el ejemplo la asignación de las unidades de arrastre y define los viajes a realizar con el objetivo de maximizar el ingreso. Tal modelo puede ser aplicado en las empresas transportistas cuyas características sean similares a la ejemplificada pues el modelo permite ser ajustable a la demanda de los viajes de transportación de carga así como los recursos que estén disponibles.

En el caso en el cual las empresas se enfrentaran a una toma de decisiones cuyos servicios de transportación difieran tanto en el peso de la carga y la cuota así como en la disponibilidad de las unidades el anterior modelo podrá representarse considerando distintos recursos disponibles. En el anexo A se muestra un ejemplo donde la situación de decisión cambia de acuerdo a los recursos disponibles y necesidades del mercado. Por tal motivo se muestra la aplicación de la política de asignación.

4.2.2 Asignación de la unidad tractora

Con el modelo anterior se eligieron los viajes de carga con óptimos ingresos asignándoles la unidad de remolque o semirremolque según el peso de la carga. En este segundo modelo se asignan las unidades tractoras o camiones estimando los costos en que incurre tanto en el desplazamiento de la carga como en su mantenimiento.

La relación de los ingresos y costos durante el servicio de transportación de carga, tanto ciertos como inciertos, proyecta una utilidad por la combinación entre ellos, utilidad que busca optimizarse. El modelo matemático se expresa con una función objetivo la cual busca la optimización en función de los ingresos por los viajes de carga elegidos en el primer modelo y los costos generales en los cuales incurre así como el costo propio de la unidad tractora durante el desplazamiento, modelo matemático que está sujeto a restricciones correspondientes a la asignación del tractocamión, el viaje, el total de viajes elegidos y de lógica (variables enteras).

Los componentes del viaje, además de los ingresos establecidos y las unidades de arrastre, semirremolque o remolque, asignados anteriormente, son los costos que se erogan para la realización del viaje por concepto del mantenimiento y seguridad de la flota de vehículos así como la necesidad originada por la asignación de un tractocamión con cierto consumo de combustible.

En esta asignación, al igual que la anterior, se aplica el Algoritmo Genético, dada la reiterada necesidad de aplicar distribuciones probabilísticas en la demanda y, también, en algunos de los gastos (por ejemplo los viáticos diarios, el rendimiento del combustible, la probabilidad de accidente, etc.) los cuales modifican los resultados, el cual permite buscar la mejor solución a un problema con muchas soluciones probables.

Específicamente, cada viaje de transportación de carga consiste en desplazar una carga de cierto peso a una cuota o precio establecido hacia un destino con una unidad de transporte, lo cual motiva asignar a la ruta los gastos y el riesgo de accidente en los cuales se incurre.

El análisis para la asignación del tractocamión requiere del establecimiento de la función de utilidad U a obtener en el viaje redondo, misma que busca maximizarse, cuya función general se representa algebraicamente con la ecuación no. 15 donde I es el ingreso a percibir por el desplazamiento de la carga y C el costo en el cual se incurre.

$$U=I-C \quad (15)$$

A través de la sustitución en la fórmula general de utilidad, se comprende al ingreso por el viaje y los gastos tanto del viaje mismo como los que ejerce la unidad tractora o tractocamión. Así, la función de utilidad de la ecuación no. 15 se convierte en la ecuación no. 16 y se representa en la figura no. 54.

$$U = [(I_j - C_j) - GC_{ij}] * X_{ij} \quad (16)$$

Donde I_j es el ingreso correspondiente por cada viaje de transportación de carga, C_j es el costo correspondiente, j es el viaje de carga, GC_{ij} es el gasto por el consumo de combustible a ejercer por el camión i en el viaje j y X_{ij} es el tractocamión i asignado al viaje j .

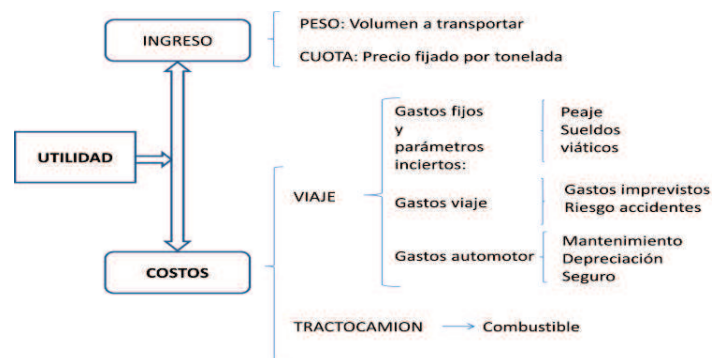


Figura no. 54: Estructura de la Utilidad

El ingreso por el viaje de transportación de carga, se compone por el peso de la carga P_j y la cuota de la misma Cu_j (ecuación no. 17).

$$I_j = P_j * C_{uj} \quad (17)$$

El costo C erogado durante el servicio de transportación de la carga, se compone por los gastos fijos y parámetros inciertos GF_j , los gastos del viaje GV_j y los gastos del automotor GA_j así como el costo del combustible GC_{ij} del tractocamión i durante el viaje de carga j el cual comprende al consumo y rendimiento del combustible durante la realización del viaje de carga (ecuación no. 18).

$$C = (\sum_{j=1}^6 GF_j + GV_j + GA_j) - \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 GC_{ij} \quad (18)$$

La variable X_{ij} , donde i es el tractocamión asignado al viaje j , se analiza en el cuadro no. 13.

		TRACTOCAMION					
		1	2	3	4	5	6
VIAJE DE CARGA	1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
	2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{26}
	3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}	X_{36}
	4	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{44}	X_{45}	X_{46}
	5	X_{51}	X_{52}	X_{53}	X_{54}	X_{55}	X_{56}
	6	X_{61}	X_{62}	X_{63}	X_{64}	X_{65}	X_{66}

Cuadro no. 13: Tractocamión i asignado al viaje de carga j

Para determinar la utilidad, se considera el kilometraje del viaje redondo, el peso de la carga en toneladas y la cuota de la carga por tonelada, el tiempo de duración del recorrido en días y el riesgo de accidente (cuadro no. 14) así como los costos del viaje de carga y el tractocamión. El riesgo de accidente en la ruta es una ponderación subjetiva asignada por el evaluador conforme al conocimiento de la carretera, el cual es calificado entre 0 cuando es totalmente seguro el tramo y 3 cuando presenta la mayor inseguridad, datos que son proporcionados por la empresa transportista (se incluye la asignación de las unidades de arrastre resultantes de la asignación de la unidad de arrastre, como referencia).

	VIAJE					
	1	2	3	4	5	6
Kilometraje viaje (redondo)	1524.5	924.36	2440.23	1331.64	743.36	1735.04
Peso de la carga (toneladas)	17	42	26	60	30	35
Cuota de la carga (\$/tonelada)	1250	850	1450	850	800	1300
Días de recorrido	3	2	4	2	2	3
Riesgo de accidente	2	1	3	2	0	2
Semirremolque	0	2	0	2	0	1
Remolque	0	0	1	0	0	0
Tractocamión	0	1	1	1	0	1

Cuadro no. 14: Información de los viajes de carga

A continuación se describen los costos del viaje C , anteriormente citados, en que se incurren.

1) Gastos fijos y parámetros inciertos.

Los gastos fijos son las erogaciones realizables durante el transporte tales como el peaje en carretera y el costo del operador Co (ecuación no. 19).

$$GF = \text{Peaje} + Co \quad (19)$$

El gasto del peaje (ecuación no. 20) es el resultado del kilometraje del viaje redondo vr multiplicado por el parámetro incierto valor promedio de las casetas kd por kilómetro (CSOP, 2004), costo representado a través de una distribución normal (cuadro no. 15).

$$\text{Peaje} = vr * kd \quad (20)$$

La suma de los viáticos y el sueldo diario sd , forman el costo del operador durante el viaje (ecuación no. 21). Los viáticos diarios vd se representan con distribución uniforme dado su comportamiento entre un rango mínimo y máximo con la misma probabilidad de ocurrencia.

$$Co = sd + vd \quad (21)$$

En el cuadro no. 15 se representan los parámetros inciertos del valor promedio de las casetas por kilómetro y los viáticos diarios.

Viaje	1	2	3	4	5	6
Valor promedio casetas	DN(3.48,0.3)					
Viáticos diarios	DU(1000,1300)					

Cuadro no. 15: Parámetros inciertos de las casetas y los viáticos

2) Gastos de viaje

Los gastos del viaje, son el importe monetario que se proporciona a los operadores para cubrir los gastos imprevistos que puedan surgir durante el servicio de transportación de la carga tales como las fallas en el automotor y el riesgo de accidente. El importe que se otorga para cubrir los gastos imprevistos por fallas en la unidad de autotransporte asciende al 10% del total de los gastos fijos y parámetros inciertos GF anteriormente expresados (ecuación no. 22).

$$GI = GF * 10\% \quad (22)$$

El riesgo de accidente Ra es la ponderación subjetiva del evaluador la cual permite determinar la probabilidad de accidente $P(a)$ a aplicar misma que es multiplicada por el ingreso. La probabilidad se representa a través de una distribución normal y se basa sobre los promedios de accidentes nacionales (SCT, 2008). Ver ecuación no. 23.

$$Ra = I_j * P(a) \quad (23)$$

En el cuadro no. 16, se representan la distribución normal de los accidentes.

Viaje	1	2	3	4	5	6
Probabilidad de accidente(BAJA)	DN(0.0008,0.0002)					
Probabilidad de accidente(MEDIA)	DN(0.0015,0.0005)					
Probabilidad de accidente(ALTA)	DN(0.001,0.0002)					

Cuadro no. 16: Representación probabilística de los accidentes

3) Gastos del automotor

Los gastos del automotor pueden ser erogados por el mantenimiento, la seguridad y la provisión contable debido al desgaste de las unidades. Los gastos correspondientes al mantenimiento se realizan periódicamente y conforme al kilometraje recorrido con la finalidad de conservar los tractocamiones en buen estado y evitar fallas en las unidades durante la transportación de la carga tales como las afinaciones del motor y la transmisión, el mantenimiento de la unidad -marcha, alternador, batería, inyectores y frenos- y los neumáticos. Los gastos por seguridad corresponden a las erogaciones que se realizan por el seguro de protección y la provisión contable consiste en la depreciación de la unidad durante su vida útil.

El costo de la afinación del motor am resulta del factor costo de la afinación del motor por kilómetro fa y el kilometraje del viaje redondo vr (ecuación no. 24).

$$am = fa * vr \quad (24)$$

El factor costo de la afinación del motor por kilómetro es resultado del parámetro incierto costo del último servicio de afinación del motor um dividido entre 10,000 kms, kilometraje establecido como estándar para su siguiente servicio de afinación (ecuación no. 25). En el cuadro no. 17 se representa el parámetro incierto del costo del último servicio de afinación del motor.

$$fa = um / 10000 \quad (25)$$

VIAJE	1	2	3	4	5	6
Costo último servicio afinación del motor	DN(1084,37)					

Cuadro no. 17: Parámetro incierto de la afinación del motor

El costo de la afinación de la transmisión at resulta del factor costo de la afinación de la transmisión por kilómetro ft y el kilometraje del viaje redondo vr (ecuación no. 26).

$$at = ft * vr \quad (26)$$

El factor costo de la afinación de la transmisión por kilómetro resulta del parámetro incierto costo del último servicio de afinación de la transmisión ut dividido entre 100,000 kms, kilometraje estándar antes de su siguiente servicio, por la afinación de la transmisión (ecuación no. 27).

$$ft = ut / 100000 \quad (27)$$

En el cuadro no. 18 se representa el parámetro incierto del costo del último servicio de afinación de la transmisión.

VIAJE	1	2	3	4	5	6
Costo último servicio afinación transmisión	DN(663,35)					

Cuadro no. 18: Parámetro incierto de la afinación de la transmisión

El costo del mantenimiento de la unidad m resulta del factor costo del mantenimiento por kilómetro fm y el kilometraje del viaje redondo vr (ecuación no. 28).

$$m = fm * vr \quad (28)$$

El factor costo del mantenimiento por kilómetro resulta del parámetro incierto costo del último servicio de mantenimiento um (cuadro no. 19) dividido entre 250,000 kms, kilometraje estándar antes del siguiente servicio de mantenimiento de la unidad (ecuación no. 29).

$$fm = um / 250000 \quad (29)$$

VIAJE	1	2	3	4	5	6
Costo último servicio mantenimiento	DN(3830,346)					

Cuadro no. 19: Parámetro incierto del mantenimiento

El costo de los neumáticos y su colocación o cambio Ne resulta del factor costo del neumático por kilómetro fne por el kilometraje del viaje redondo vr multiplicados por la cantidad de neumáticos a cambiar qne (ecuación no. 30).

$$Ne = (fne * vr) * qne \quad (30)$$

El factor costo del neumático por kilómetro resulta de los parámetros inciertos precio del neumático pne y su duración dne o vida útil (ecuación no. 31).

$$Fne = pne / dne \quad (31)$$

En el cuadro no. 20 se presentan los parámetros inciertos correspondientes al costo de los neumáticos.

VIAJE	1	2	3	4	5	6
Precio neumático	DN(4900,335)					
Duración neumático	DN(60000,5000)					

Cuadro no. 20: Parámetros inciertos de los neumáticos

El gasto por el seguro del vehículo sv resulta del factor seguro por día sd multiplicado por los días del viaje d (ecuación no. 32).

$$sv = sd * d \quad (32)$$

El factor seguro por día resulta del parámetro incierto costo del seguro si (cuadro no. 21) entre los días del año 365 (ecuación no. 33).

$$sd = si / 365 \quad (33)$$

VIAJE	1	2	3	4	5	6
Costo del seguro	DN(25000,1000)					

Cuadro no. 21: Parámetro incierto del seguro

La provisión por la depreciación del vehículo dv resulta del factor depreciación por kilómetro fdk por el kilometraje del viaje redondo vr (ecuación no. 34).

$$dv = fdk * vr \quad (34)$$

El factor depreciación por kilómetro resulta de los parámetros inciertos inversión en activo fijo iaf y vida útil del vehículo vu (cuadro no. 22) cuya expresión matemática se representa con la ecuación no. 35.

$$Fdk = iaf / vu \quad (35)$$

VIAJE	1	2	3	4	5	6
Inversión en activo fijo actual	DN(450000,120000)					
Vida útil (km)	DN(700000,100000)					

Cuadro no. 22: Parámetro incierto de la depreciación

4) Gasto del combustible (diesel)

Otro costo importante es el gasto del combustible GC_{ij} que consume cada uno de los tractocamiones durante el viaje redondo y cuya expresión matemática se reproduce en la ecuación no. 36.

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 GC_{ij} \quad (36)$$

El gasto del combustible de cada tractocamión, depende de la relación entre el total del kilometraje del viaje redondo vr y el rendimiento del combustible por kilómetro multiplicado por el precio del combustible pc (ecuación no. 37).

$$GC = (vr / rc) * pc \quad (37)$$

El rendimiento del combustible indica el consumo real de cada unidad tractora y se representa con distribución normal (cuadro no. 23) donde T es el tractocamión y j es el viaje de transportación de carga.

	j_1	j_2	j_3	j_4	j_5	j_6
T_1	DN(20,2)					
T_2	DN(23.1,2.5)					
T_3	DN(25,1.8)					
T_4	DN(22,1.5)					
T_5	DN(27.5,1.8)					
T_6	DN(32,1.6)					

Cuadro no. 23: Rendimiento del combustible (km/lit)

El modelo matemático de optimización comprende una función objetivo donde la maximización de las utilidades resulta de la sustracción de los costos al ingreso sujeta a restricciones como la asignación del tractocamión, asignación del viaje, del total de viajes y la restricción lógica o de números enteros.

La función objetivo, específicamente, se compone del peso y cuota del viaje así como de los gastos tanto del viaje como del combustible de cada tractocamión asignado a cada viaje (ecuación no. 38)

Las restricciones para la asignación de camiones consideran un tractocamión i asignado a un viaje j (ecuaciones nos. 39 a 44).

La restricción para la asignación del viaje corresponde a la asignación del viaje a un tractocamión (ecuaciones nos. 45 a 50); en estas restricciones, se expresan la no realización de los viajes nos. 1 y 5 pues, de acuerdo al modelo de asignación de las unidades de arrastre (ver cuadro no. 12), no eran óptimos para los ingresos.

La restricción del total de viajes elegidos instruye a la realización de 4 viajes con 4 camiones (ecuación no. 51) y la variable lógica limita los resultados a números enteros (ecuación no. 52).

$$\text{Max. } U = \sum_{j=1}^6 p_j C u_j - (\sum_{j=1}^6 G F_j + G V_j + G A_j) - \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 G C_{ij} * \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 X_{ij} \quad (38)$$

Sujeta a las restricciones:

- Restricción de asignación de tractocamión:

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq 1 \quad (39)$$

$$\sum_{i=2}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq 1 \quad (40)$$

$$\sum_{i=3}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq 1 \quad (41)$$

$$\sum_{i=4}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq 1 \quad (42)$$

$$\sum_{i=5}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq 1 \quad (43)$$

$$\sum_{i=6}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq 1 \quad (44)$$

- Restricción de asignación de viaje:

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} = 0 \quad (45)$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=2}^6 x_{ij} = 1 \quad (46)$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=3}^6 x_{ij} = 1 \quad (47)$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=4}^6 x_{ij} = 1 \quad (48)$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=5}^6 x_{ij} = 0 \quad (49)$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=6}^6 x_{ij} = 1 \quad (50)$$

- Restricción del total de viajes elegidos:

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 x_{ij} = 4 \quad (51)$$

- Restricción lógica:

$$\text{Todas las variables } X_{ij} \text{ son enteras} \quad (52)$$

Dado que el modelo se ejecuta con el programa RISKOptimizer, también es configurada la aplicación para que el resultado sea la maximización y emplee la media estadística; se conserva la configuración original de la tasa de cruzamiento del 0.5 la cual permite que el organismo embrión presente el 50% de sus valores de variables de un padre y el restante del otro progenitor.

La tasa de mutación de 0.1 permite generar escenarios aleatorios pues la mutación se sucede después del cruce y una tasa mayor impide efectos en el cruce.

El tamaño de la población se fija en 50 para obtener la solución en menos tiempo; se establece una “semilla generadora de números aleatorios” o algoritmo de elección de número al azar que crea rutinas generadoras de variables aleatorias con distribuciones específicas cuya secuencia se transforma para obtener valores aleatorios de las distribuciones deseadas. El tiempo de ejecución

es convergente pues se detiene al generarse las celdas de destino de la optimización y las celdas de las restricciones son estables convergiendo las estadísticas de interés; esta es definida por la tasa de tolerancia cuyo valor establece la cantidad de cambio permitido, tasa que puede ser automática, baja o alta según el tiempo requerido para ejecutar la optimización. Las restricciones en este modelo son todas del tipo “duro” pues deben cumplirse.

Análisis de los resultados de la optimización de de la asignación de los tractocamiones

Resultado de la optimización con Algoritmo Genético se establece el viaje y el tractocamión que generan las mejores utilidades. Así, se observa la conveniencia de asignar el tractocamión no. 3 al viaje no. 2, el tractocamión no. 1 al viaje no. 3, el tractocamión no. 6 al viaje no. 4 y el tractocamión no. 4 al viaje no. 6, lo cual reditúa un ingreso total de \$108,488.30 (cuadro no. 24)

	VIAJE						OPTIMO
	1	2	3	4	5	6	
UTILIDAD	0	14690.47	26140.51	28784.10	0	38873.22	108,488.30
SEMIRREMOLQUE	0	2	0	2	0	1	
REMOLQUE	0	0	1	0	0	0	
TRACTOCAMIÓN	0	3	1	6	0	4	

Cuadro no. 24: Tabulación de la asignación de tractocamiones

4.2.3 Solución a la optimización de la elección de viajes

La técnica de optimización con Algoritmo Genético establece los mejores recursos disponibles para la realización de los óptimos viajes de transportación de carga, con los que cuenta la empresa. En resumen, de los resultados obtenidos de los modelos matemáticos presentados anteriormente, la solución óptima al problema es: asignar al viaje no. 2 dos semirremolques y el tractocamión no. 3, al viaje no. 3 un remolque y el camión no. 1, al viaje 4 dos semirremolques y el automotor no. 6 y al viaje no. 6 un semirremolque y la unidad tractora no. 4, asignación que reditúa una utilidad de \$108,488.30 (cuadro no. 25).

	VIAJE						OPTIMO
	1	2	3	4	5	6	
INGRESOS	21250	35700	37700	51000	24000	45500	169,900
SEMIRREMOLQUE	0	2	0	2	0	1	
REMOLQUE	0	0	1	0	0	0	
UTILIDAD	0	14690.47	26140.51	28784.10	0	38873.22	108,488.30
TRACTOCAMIÓN	0	3	2	6	0	4	

Cuadro no. 25: Tabulación de las utilidades por la realización del servicio de transportación de carga

Este modelo matemático determina en el ejemplo la asignación de las unidades tractoras o camiones a los viajes de transportación definidos en el modelo matemático anterior siendo el objetivo maximizar la utilidad. Tal modelo puede ser aplicado en las empresas transportistas cuyas características sean similares a la ejemplificada pues el modelo permite ajustar la

asignación de los tractocamiones a la demanda de los viajes de transportación de carga definidos en un modelo anterior.

Así, en el caso en el cual las empresas se enfrentara a una toma de decisiones cuyos servicios de transportación difieran tanto en el peso de la carga y la cuota así como la disponibilidad de las unidades el anterior modelo podrá representarse considerando distintos recursos disponibles. En el anexo B se muestra un ejemplo donde la situación de decisión cambia de acuerdo a los recursos disponibles.

4.3 Análisis de decisión para la compra de llantas a través de Simulación Monte Carlo

Dentro de los gastos del automotor, un gasto importante corresponde a la adquisición de las refacciones en la conservación en buen estado de las unidades lo cual implica un problema de selección del proveedor donde se consideran factores críticos de beneficio, oportunidades, costos, y riesgos, entre otros, en conflicto en diversos escenarios como la relación comprador-proveedor, decisiones de compras masivas o bajo restricciones de cantidades discontinuas, capacidad y presupuesto. En este rubro, la adquisición de las llantas es la de mayor importancia dada su necesidad para la seguridad del vehículo y la entrega oportuna de la carga así como el costo que genera su adquisición y cambio.

Los principales efectos ocasionados por el riesgo en las fallas de los tractocamiones son los accidentes y la entrega de la carga así como sus costos, siendo uno de los principales factores del riesgo el estado de los neumáticos; cabe mencionar que en el 2007 (SCT, 2008) se reportaron 1,640 accidentes de los cuales el 53% (927) corresponden a deficiencias en las llantas.

Regularmente la empresa tiene la necesidad de adquirir un promedio de 20 llantas para una flotilla vehicular de 16 unidades, tanto de tracción como de arrastre, cuya gestión de suministro implica, entre otros factores, la selección del proveedor, el precio del bien, la disponibilidad de efectivo, el desempeño del proveedor así como los suministros para el cambio de las llantas relacionados como son las válvulas, la alineación y el balanceo.

El análisis de decisión de la adquisición de llantas se desarrolla con simulación de Monte Carlo ya que puede predecir la operación de compra de neumáticos para un cierto periodo, lo cual permite una mejor comprensión de la logística y suministro de las llantas, así como anticipar “cuellos de botella” por la indisponibilidad de las unidades. Además, permite validar el modelo maestro representado en la figura no. 31 “Compra de llantas”.

La evaluación de la adquisición, supone la relación del costo total con la cantidad de llantas a adquirir, el precio unitario, el desempeño esperado de las llantas, la disponibilidad en días para la adquisición de la llanta y los precios unitarios de los suministros y servicios complementarios como son las válvulas, la alineación y el balanceo; dentro del factor disponibilidad en días, se analiza el costo de oportunidad correspondiente, costo definido por Gitman (2000) como los flujos de efectivo por el uso alternativo de un activo dentro de un proyecto y por lo cual debe

incluirse como una salida de efectivo en la determinación de los flujos de efectivo incrementales de un proyecto.

Con esta simulación se atiende la actividad de la adquisición a través de la manipulación de variables aleatorias las cuales se convierten en distribución de probabilidad imitando la realidad y estimando su valor. Al variar el valor de algunos parámetros y variables independientes y repitiendo el proceso de muestreo aleatorio, se mide el efecto sobre la variable estocástica elegida y la conducta simulada se utiliza como entrada al proceso de toma de decisiones del autotransporte de carga conociendo así el impacto de la variable de decisión, adquisición y cambio de los neumáticos, a fin de lograr la minimización de los costos y pagos mensuales al proveedor al mejor valor presente neto (VPN).

Finalmente, evitar “cuellos de botella” dentro del proceso de la logística requiere de la sincronización en el cambio de neumáticos, soportados en la previsión oportuna del desempeño del neumático, de manera que permita al transportista mejorar la función del costo de oportunidad y la eficiencia así como la programación del cambio correspondiente y su debida inclusión en el presupuesto y estabilidad en el costo.

Realizar un experimento de simulación se requiere realizar varios pasos como son definir el sistema, formular el problema, recolectar los datos, implementar el modelo, validarlo, experimentar, interpretar y documentar (Coss, 2002; Law & Kelton, 2000).

1. Definición del sistema. Para la simulación del sistema se requiere de un primer análisis con el cual se determine la interacción del sistema con otros, las restricciones, las variables, sus interrelaciones así como las medidas de efectividad y los resultados esperados.
2. Formulación del problema. Una vez definido el sistema así como los resultados esperados, se define y construye el modelo para el logro de los resultados deseados. La definición del modelo necesita definir las variables que lo formarán, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describirán el modelo.
3. Recolección de datos. La facilidad o dificultad en la recolección de los datos puede influir en el desarrollo y formulación del modelo por lo cual se requiere que los datos necesarios para producir los resultados sean definidos de manera clara y exacta. Normalmente la información puede obtenerse de los registros contables, las órdenes de compra, las opiniones de los expertos y la experimentación.
4. Implementación del modelo. Definido el modelo, el siguiente paso es la decisión concerniente al uso de algún lenguaje o paquete de programación para su proceso en la computadora y obtener los resultados.
5. Validación. Una de las principales etapas es la validación pues en esta es posible detectar las deficiencias en la formulación del modelo o en los datos alimentados al modelo. Las formas más comunes de validación son:
 - La opinión de los expertos en los resultados.

- La comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hagan fallar al sistema real.
 - La aceptación y confianza en el modelo de la persona que utilizará los resultados del experimento.
6. Experimentación. Una vez validados los resultados, se experimenta a través de la generación de los datos deseados y realizando análisis de sensibilidad de los índices requeridos.
 7. Interpretación. En esta etapa son interpretados los resultados, base para la toma de decisión. Los resultados obtenidos del estudio de simulación ayudan a soportar las decisiones del tipo semiestructurado pues el estudio en sí no toma la decisión pero su información ayuda a una mejor toma de decisiones y, sistemáticamente, a obtener mejores resultados.
 8. Documentación. La documentación requerida para un mejor uso de la simulación son del tipo técnico y el manual del usuario mismo que facilita la interacción y uso del modelo desarrollado a través de una terminal de computadora.

4.3.1 Desarrollo del modelo de Simulación para la compra de llantas

La compra de llantas dentro de una empresa transportista es una actividad importante dado su costo así como ser imprescindibles en la movilización de las unidades. Tal actividad conlleva un sistema el cual, a grandes rasgos, consiste en determinar las unidades transportadoras que las requieran indicando el total de llantas necesarias, cotizar con los proveedores los precios, tipos y marcas de llantas indicando las características de estas así como la oportunidad para su entrega.

La simulación en la compra de llantas, busca representar el proceso a seguir el cual necesita, en términos generales, la información de las unidades que lo requieren, el capital disponible y los proveedores con los cuales se podrán adquirir. Para esto, la simulación considera al costo total de la adquisición como criterio para la toma de decisiones de la compra de llantas. Este costo involucra aspectos como el precio de los neumáticos, el desempeño o vida útil de los neumáticos, la disponibilidad en días (costo de oportunidad) y los costos complementarios concernientes al cambio de las llantas usadas por las adquiridas, como son la alineación, el balanceo y las válvulas, aspectos incluidos en la expresión algebraica no. 53.

$$C_t = P_n + ND(P_a) + QCd + N(a+b+v) \quad (53)$$

Dicha expresión presenta la siguiente nomenclatura:

- C_t = costo total de la adquisición de llantas,
- P_n = precio de los neumáticos,
- D = desempeño de la llanta (% tiempo de vida),
- P_a = precio ajustado de la llanta,
- Q = costo de oportunidad,
- C = camiones que requieren el cambio de llanta,
- d = días de espera por la empresa transportista para el cambio de los neumáticos,

N = número de llantas a cambiar,
 a = costo de alineación correspondiente,
 b = costo del balanceo y
 v = costo de la válvula.

Cada uno de los factores involucrados en el costo total de la adquisición de las llantas, son descritos en las siguientes secciones a detalle.

4.3.1.1 Precio de los neumáticos (P_n)

El precio de los neumáticos es el importe monetario sobre el cual la empresa tomara la decisión de adquirir los neumáticos, incluyendo el suministro y servicio del cambio de las llantas, ya sea a contado o a crédito, decisión que resulta de comparar el costo total de las llantas y la disponibilidad de efectivo.

Los neumáticos se seleccionan considerando factores de duración, marca, modelo y precio. Dada la diferencia en el precio y en la duración o vida útil de la llanta, se establece un índice k o diferencial que ajusta las diferencias en la duración promedio entre los modelos de llantas radial r y convencional c (cuadro no. 21) y cuya expresión algebraica se presenta a continuación (ecuación no. 54).

$$k = r/c \quad (54)$$

Las marcas de las llantas consideradas para la decisión son de la marca Pneuston, Michelin, Gtire o Continental las cuales pueden ser del tipo convencional o radial. Cada tipo de llanta tiene una duración estándar en kilómetros que se muestran en el cuadro no. 26 así como el índice diferencial k .

	Duración promedio (km)
Convencional (c)	200000
Radial (r)	250000
Diferencial (k)	1.25

Cuadro no. 26: Tipos y marcas de llantas

El producto del índice diferencial k y el precio unitario de cada marca y tipo de llanta m es una lista de precios Precio Unitario Ajustado P_a (ecuación no. 55) de donde surge el nuevo precio unitario útil para el cálculo del precio total de los neumáticos P_n (cuadro no. 27).

$$P_a = m + k \quad (55)$$

El nuevo precio de las llantas P_n es determinado por medio de la multiplicación del precio unitario ajustado P_a por la cantidad de llantas N (ecuación no. 56).

$$P_n = N(P_a) \quad (56)$$

El nuevo precio P_n es fundamental en la definición del costo total de la adquisición a contado el cual se obtiene sumándole los factores anteriormente mencionados.

Además, el nuevo precio P_n es el importe monetario sobre el cual se calcula el costo de la compra a crédito del cual se mide su beneficio a valor presente neto VPN cálculo que se realiza a precios constantes.

		Precio Unitario Ajustado
Pneuston	Convencional	Precio de lista * diferencial
	Radial	
Michelin	Convencional	
	Radial	
Gtire	Convencional	
	Radial	
Continental	Convencional	
	Radial	

Cuadro no. 27: Precio unitario ajustado

La compra a crédito se realiza a un plazo por lo cual se requiere determinar cada uno de los pagos a crédito sobre cuya suma se calcula el valor presente neto VPN .

En el pago a crédito, el nuevo precio A se calcula con los pagos mensuales p considerando una tasa de interés i , y un plazo o periodo de pago t (ecuación no. 57)

$$A = \frac{(1+i)*p}{t} \quad (57)$$

El cálculo del VPN , se calcula sobre los pagos mensuales a una tasa de inflación anual ia se expresa matemáticamente en la ecuación no. 58.

$$VPN = \sum \frac{A}{(1+\frac{ia}{12})^j} \frac{1}{(1+\frac{ia}{12})^j} \quad (58)$$

Establecido el nuevo precio unitario A , se analiza la disponibilidad de efectivo tanto en el banco como en caja así como el riesgo dadas sus variaciones ocasionadas por los gastos imprevistos que pueda tener la empresa misma.

Los gastos imprevistos son las erogaciones realizables que ocasionan variaciones vr sobre el disponible en caja c y el banco i y se representan con distribución normal (ecuaciones nos. 59 y 82).

$$\text{Imprevistos caja: DN}(c, vr) \quad (59)$$

$$\text{Imprevistos banco: DN}(i, vr) \quad (60)$$

4.3.1.2 Desempeño del producto ($ND(P_a)$)

El cálculo del desempeño tiene como finalidad determinar el costo en que se incurre con relación a la vida útil estándar. Este factor analiza la vida útil de la llanta a adquirir a través de la evaluación del desempeño del proveedor y el producto. El buen desempeño del producto es un beneficio para la empresa, pues al exceder la vida útil proporciona beneficios de seguridad y ahorro.

La información requerida para la evaluación del desempeño del proveedor E se fundamenta sobre las experiencias de la empresa con 3 proveedores la cual se clasifica como buena, mala o normal y se pondera de manera subjetiva (cuadro no. 28).

	Proveedor A	Proveedor B	Proveedor C	
Desempeño	Pneuston	Michelin	Gtire	Continental
Bueno	0.15	0.12	0.1	0.11
Regular	0.7	0.7	0.85	0.8
Malo	0.15	0.18	0.05	0.09

Cuadro no. 28: Ponderación del proveedor

La ponderación mencionada al ser relacionada con el nuevo precio unitario ajustado P_a y la tabla de precio unitario ajustado se obtiene la evaluación del desempeño del proveedor (cuadro no. 29).

Desempeño	
Bueno	0.15
Regular	0.7
Malo	0.15

Cuadro no. 29: Desempeño del proveedor

Para el desempeño del producto I se pondera el porcentaje de calidad de manera subjetiva a través de la duración promedio del producto con relación al tiempo de vida especificado; cabe comentar que un mal desempeño indica una vida útil por abajo de las especificaciones del fabricante dando como consecuencia un incremento en el costo (cuadro no. 30).

	Ganancia/Pérdida
Bueno	-0.1
Normal	0
Malo	0.2

Cuadro no. 30: Desempeño del producto

La evaluación del desempeño del producto D es resultado de las ponderaciones del proveedor E y del producto I representados con distribución discreta (ecuación no. 61).

$$DD = (E, I) \quad (61)$$

Finalmente, el desempeño así obtenido es multiplicado por la cantidad de llantas requeridas y el precio unitario ajustado (ecuación no. 62)

$$ND(P_a) \quad (62)$$

4.3.1.3 Disponibilidad en días del producto (QCd)

La disponibilidad en días o costo de oportunidad determina la cantidad monetaria no percibida por unidad ociosa durante la provisión de la compra y el cambio de las llantas y su cálculo se realiza sobre la base de la utilidad promedio Q diaria por viaje no realizado multiplicado por el número de tractocamiones fuera de servicio C y el número de días ociosos d por motivo del cambio (ecuación no. 63).

$$QCd \quad (63)$$

La utilidad promedio diaria Q por viaje resulta de la división de la utilidad neta anual entre los días del año y entre el total de unidades C cuyas llantas serán cambiadas (ecuación no. 64).

$$Q = \frac{\frac{\text{utilidad neta anual}}{365}}{C} \quad (64)$$

Los días ociosos d de los camiones por el suministro y cambio de las llantas son analizados sobre la base de la disponibilidad y la calidad del producto según el proveedor.

La empresa determina la cantidad de días d que tarda el proveedor en surtir el pedido sobre la experiencia. Para esto, el servicio de cada proveedor se califica como bueno o regular, según los días de tardanza en el suministro e impacto en el desempeño de la flotilla, asignándose una probabilidad de desempeño en sus labores. La ponderación del mejor proveedor resulta de la comparación del nuevo precio unitario ajustado con la tabla de precio ajustado y se registran sus probabilidades (cuadro no. 31).

Disponibilidad (DÍAS)	A		B		C	
	Bueno	Regular	Bueno	Regular	Bueno	Regular
1	0.55	0.3	0.7	0.1	0.6	0.3
2	0.35	0.4	0.05	0.35	0.2	0.2
3	0.1	0.3	0.25	0.55	0.2	0.5

Cuadro no. 31: Ponderación de la tardanza del proveedor

Con la ponderación anterior, se elige al proveedor cuya ponderación sea la mejor y se decide una vez considerado un valor auxiliar así como el mejor servicio del proveedor la cual es denominada “salida probable” en el cuadro no. 32.

Salida bueno-regular		
Proveedor:	A	
Bueno (1)	Regular (0)	Salida probable
0.55	0.3	0.55
0.35	0.4	0.35
0.1	0.3	0.1

Cuadro no. 32: Calificación de la tardanza del proveedor

La evaluación del servicio del proveedor parte de un servicio bueno o regular ponderado subjetivamente del cual se definen los mejores valores o salida al comparar el nuevo precio unitario ajustado con la tabla de precio ajustado; la decisión del mejor proveedor es representada con distribución discreta con el valor auxiliar va y el mejor valor o salida s (cuadro no. 33).

Tipo de Servicio	Proveedor A	Proveedor B	Proveedor C	Salida	Valor auxiliar	Servicio proveedor
Bueno	0.93	0.9	0.7	0.93	1	DD(va,s)
Regular	0.07	0.1	0.3	0.07	0	

Cuadro no. 33: Ponderación del servicio del proveedor

Finalmente, la determinación de los días de entrega d son representados con distribución discreta cuyo valor v corresponde a los días de tardanza y el peso correspondiente a la salida probable sp del cuadro no. 33 (cuadro no. 34).

Días tardanza	DD(v,sp)
----------------------	------------------------------

Cuadro no. 34: Representación de los días de tardanza o demora

Finalmente, la tardanza así obtenida es multiplicada por la cantidad de llantas requeridas y el precio unitario ajustado (ecuación no. 63)

4.3.1.4 Costo complementario ($N(a+b+v)$)

El último componente de los costos en la compra de llantas, son los costos complementarios los cuales son las erogaciones necesarias para realizar el cambio de las llantas los cuales son por los servicios de alineación a , balanceo b y el suministro de las válvulas v , costos variables representados con distribución normal cuyos resultados se suman y multiplican por la cantidad de llantas a adquirir (cuadro no. 35).

Costo unitario	Costo medio	Desv. estándar	Costo final
alineación (a)	\$150.00	\$25.00	DN($\bar{c},\sigma$)
balanceo (b)	\$120.00	\$5.00	
Válvulas (V)	\$125.00	\$5.00	

Cuadro no. 35: Distribución normal de la alineación, balanceo y válvulas

4.3.2 Aplicación de la simulación Monte Carlo al modelo de compra de llantas

El modelo de simulación es ejecutado con el programa @RISK, el cual fue configurado con características tanto generales como de muestreo. Las características generales indican la entrada de la cantidad de ejecuciones y especifica el tipo de valor que retorna por las distribuciones durante el recálculo. Así, el total de simulaciones que serán ejecutadas son 8, cantidad que corresponde a cada tipo de llantas que pueden ser consideradas para su ejecución (cuatro marcas de llantas con dos tipos cada una); cada una de las simulaciones se calcula repetidamente 500 veces (iteraciones) con un conjunto de nuevos valores posibles de cada distribución de entrada y cada iteración; y los valores que se utilizan son aleatorios en los cuales las funciones de distribución retornan una muestra Monte Carlo durante un recálculo convencional.

La configuración de muestreo permite especificar la forma en que se generan las muestras y se guardan durante una simulación. El tipo de muestreo durante una simulación en @RISK puede variar de acuerdo a la selección de las muestras a lo largo de un rango de distribución; en este caso, se recurre al tipo Latino hipercúbico el cual selecciona un muestreo estratificado y no convencional (Monte Carlo). El generador de los números, crea los números aleatorios aplicándose el tipo Mersenne Twister el cual genera números pseudoaleatorios equidistribuidos. La semilla o número inicial es definido para generar los números aleatorios; las simulaciones múltiples especifican el valor de la semilla a utilizar la cual, en este caso, es instruida la utilización de una semilla diferente en cada simulación en una corrida de múltiples simulaciones.

Configurado el programa, se fija la celda con la función de salida o *RiskOutput* en el cual son identificadas las celdas de salida del costo de los neumáticos a crédito, el desempeño del producto, el costo de oportunidad y el costo complementario.

En la transportación terrestre, los neumáticos deteriorados, cuyos gastos por su compra y cambio son elevados, afectan la operación con el retraso del servicio y pueden causar fallas y/o accidentes. Los resultados de la simulación Monte Carlo, son analizados considerando su desviación estándar así como se analiza la sensibilidad de los mismos.

4.3.2.1 Resultados de la simulación

El análisis de la toma de decisión de la mejor opción de costo total para la compra de llantas se realiza de manera gráfica y numérica. El análisis gráfico se realiza con el diagrama de tendencias las salidas simuladas en el cual se representan los resultados de las simulaciones mostrando las medias y las desviaciones estándar de cada una de las simulaciones realizadas; el segundo tipo de gráfico analiza los coeficientes de regresión y correlación con los cuales se busca determinar las variables de entrada de mayor impacto en una variable de salida; el análisis de los coeficientes es realizado en este inciso en base a cuadros comparativos mismos que se basan sobre los gráficos los cuales son presentados en el anexo C y D.

4.3.2.1.1 Análisis gráfico

A través del análisis gráfico se pretende definir al mejor resultado o simulación de manera visual lo cual se realiza con un diagrama de tendencias. En dicho diagrama, se representa la información concerniente a la media, la desviación estándar y los percentiles correspondientes al costo total.

Cada una de las simulaciones, tiene la siguiente correspondencia con los proveedores y neumáticos (cuadro no. 36):

PROVEEDOR	MARCA	TIPO	SIMULACION NO.
A	Pneuston	Convencional	1
		Radial	2
B	Michelin	Convencional	3
		Radial	4
C	Gtire	Convencional	5
		Radial	6
	Continental	Convencional	7
		Radial	8

Cuadro no. 36: Correspondencia de las simulaciones con las llantas

Como puede observarse en la figura no. 56, la simulación con la menor media aritmética corresponde a la simulación no. 2 con un valor aproximado a los \$110,000.00 –llanta Pneuston radial del proveedor A- seguida por las simulaciones nos. 8, 1, 4, 3, 6, 5 y 7 cuyos valores oscilan entre los \$110,000.00 y \$119,000.00, aproximadamente. Asimismo, se observa en dicho diagrama que las distancias de las desviaciones estándar con respecto a su media se aprecian del

mismo tamaño por lo cual es necesario recurrir a un segundo análisis que muestre la cantidad correspondiente como lo es el análisis numérico.

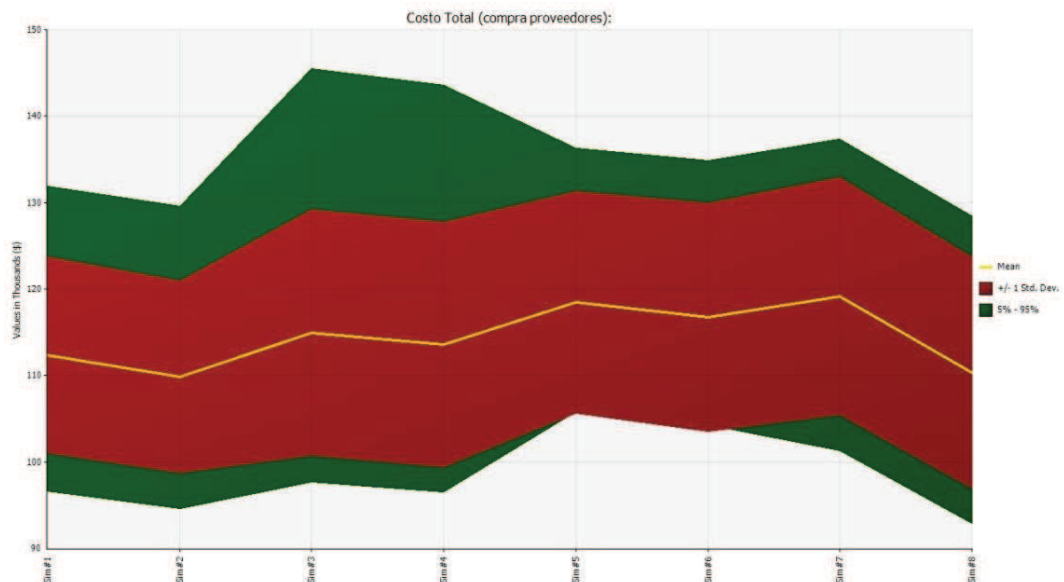


Figura no. 55: Tendencia resumen

Con relación a los percentiles, se muestra la dispersión de los valores a través del rango entre el mínimo y el máximo valor de la observación, cuyas lecturas aproximadas por simulación se presentan en el cuadro no. 37, en el cual se observa que el rango promedio asciende a \$36.4 miles de pesos siendo el menor rango de las simulaciones de \$30 mil y el máximo valor de \$46 mil por lo cual el rango entre las simulaciones es por \$16 mil pesos.

SIMULACION NO.	1	2	3	4	5	6	7	8
MAXIMO	\$131	\$130	\$145	\$144	\$130	\$135	\$138	\$130
MINIMO	\$98	\$97	\$99	\$98	\$105	\$100	\$100	\$95
RANGO	\$33	\$33	\$46	\$46	\$30.00	\$30.00	\$38	\$35

Cuadro no. 37: Rangos de las simulaciones (miles de pesos)

Con la finalidad de determinar las variables de entrada de mayor impacto en los resultados de las simulaciones, se analizan los coeficientes de correlación de Spearman el cual mide el grado de relación entre dos variables y el coeficiente de regresión el cual ayuda a entender cómo el valor típico de la variable dependiente cambia cuando alguna de las variables independientes es modificada.

El coeficiente de correlación de Spearman, muestra la dependencia positiva, nula y negativa entre las variables según su grado de correlación. Como se observa en el cuadro no. 38, las simulaciones nos. 1, 5, y 7 presentan correlaciones positivas donde las variables aumentan directamente proporcional al costo y nulas donde no existen correlación ni independencia como es el caso del balanceo en las simulaciones nos. 3 y 7 y banco con imprevistos de la simulación

no. 7. En el mismo cuadro puede observarse correlaciones negativas indicativas de cambios en las variables de manera inversa como es el caso de las simulaciones nos. 2, 3, 4, 6 y 7.

Simulación	1	2	3	4	5	6	7	8
Disponibilidad	0.86	0.85	0.83	0.85	0.91	0.90	0.90	0.90
Desempeño	0.41	0.37	0.47	0.38	0.22	0.24	0.38	0.25
Alineación	0.29	0.18	0.16	0.30	0.22	0.28	0.21	0.30
Válvulas	0.08	0.02	0.07	0.01	0.02	0.09	0.04	0.08
Balanceo	0.03	-0.06	0	-0.01	0.07	0.07	0	0.11
Caja c/ imprevistos	0.02	-0.07	0.03	-0.02	0.02	-0.07	0.3	-0.07
Banco c/ imprevistos	0.01	-0.10	-0.03	-0.09	0.09	0.01	0	0.01

Cuadro no. 38: Grado de correlación de Spearman

De manera general, la variable disponibilidad de las llantas presenta una relación positiva alta en todas las simulaciones es decir, esta cambia debido al servicio y la calidad del proveedor. Las variables de mayor impacto en las distintas simulaciones corresponden a las variables por bancos y caja con imprevistos los cuales al incrementarse el costo disminuye en proporción inversa a dichos conceptos o, por el contrario, al disminuir estos se incrementa el costo; este comportamiento se repite con el costo del balanceo.

El análisis de regresión permite predecir la variable dependiente a partir de una o más variables independientes la cual puede ser positiva si la variable dependiente se incrementa de manera directa a la variable independiente, negativa en el caso inverso y nula si no existe relación. En el cuadro no. 39 se nota a las simulaciones nos. 5 y 7 con dependencia directa con excepción de los conceptos caja y banco con imprevistos los cuales no muestran relación; Estos últimos conceptos presentan una dependencia inversa en las simulaciones nos. 2, 3, 4, 6 y 8 y sin relación la caja con imprevistos las simulaciones nos. 1, 5 y 7.

Simulación	1	2	3	4	5	6	7	8
Disponibilidad	0.86	0.87	0.89	0.90	0.97	0.95	0.90	0.93
Desempeño	0.49	0.49	0.42	0.40	0.30	0.28	0.35	0.32
Alineación	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
Válvulas	0.01	-	0.01	-	0.01	-	0.01	-
Balanceo	0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.01	-
Caja c/ imprevistos	-	-0.03	-0.01	-0.01	-	-0.01	-	-0.05
Banco c/ imprevistos	-0.01	-0.04	-0.01	-0.02	-	-0.01	-	-0.06

Cuadro no. 39: Grado de regresión

Como se observa en el análisis expuesto anteriormente, gráficamente la mejor opción de menor costo corresponde a la simulación no. 2 – llanta Pneuston radial del proveedor A- pues la propuesta presenta una mejor media, con un rango percentil de \$33 mil, así como relaciones de correlación r y regresión $\hat{Y}$ son tanto positivas o directas como negativas o inversas y de las cuales se presentan en el cuadro no. 40.

Las relaciones mencionadas, son positivas o directas en los casos de la disponibilidad del producto, la cual es alta, el desempeño y la alineación en ambos coeficientes además de las

válvulas y el balanceo en el coeficiente de correlación en tanto que son nulas en el coeficiente de regresión. Asimismo se observa una relación inversa baja tanto en caja como en bancos con imprevistos en ambos coeficientes.

Simulación no. 2	r	$\hat{Y}$
Disponibilidad	0.85	0.87
Desempeño	0.37	0.49
Alineación	0.18	0.05
Válvulas	0.02	-
Balanceo	-0.06	-
Caja c/ imprevistos	-0.07	-0.03
Banco c/ imprevistos	-0.10	-0.04

Cuadro no. 40: Simulación no. 2

4.3.2.1.2 Análisis numérico

Efectuar un análisis numérico permite dar mayor exactitud al resultado analizado gráficamente.

La toma de decisión de la adquisición de llantas se basa sobre los resultados de las 8 simulaciones las cuales son analizadas en lo que concierne a la media y la desviación estándar, los importes mínimo y máximo de cada simulación, y el error estándar de la media el cual indica la desviación estándar de la distribución la cual puede observarse que en todas las simulaciones es igual a cero o no existe tal error.

En el cuadro no. 41 se enlistan los valores mínimos y máximos, la media, la desviación estándar y los errores estándar de la media de las simulaciones. En el mismo, se observa que las tres medias de menor costo corresponden a las simulaciones nos, 2, 8 y 1 que corresponden a las llantas Pneuston radial de los proveedores A y C y Pneuston convencional del proveedor A, respectivamente.

Descripción	Sim#1	Sim#2	Sim#3	Sim#4	Sim#5	Sim#6	Sim#7	Sim#8
Mínimo	\$95,439.95	\$85,470.19	\$89,226.34	\$87,668.45	\$98,799.34	\$97,621.20	\$99,759.22	\$84,060.16
Máximo	\$145,651.70	\$142,582.10	\$147,499.00	\$145,518.90	\$150,743.70	\$148,636.00	\$151,347.80	\$141,349.80
Media	\$112,377.70	\$109,811.60	\$114,946.80	\$113,553.10	\$118,478.60	\$116,761.20	\$119,148.20	\$110,295.70
Desviación	\$11,315.56	\$11,123.89	\$14,211.65	\$14,163.26	\$12,848.02	\$13,203.59	\$13,753.14	\$13,409.88

Cuadro no. 41: Resultados de la simulación

Al análisis de las medias, puede agregársele un comentario acerca de las desviaciones estándar consistente en que dichas desviaciones son las menores por lo cual el riesgo es minimizado con estas opciones de compra.

4.3.2.2 Solución a la simulación de la compra de llantas

De las ocho alternativas presentadas (simulaciones), puede observarse que tanto gráficamente como numéricamente la opción con la mejor media aritmética corresponde a la simulación no. 2,

llanta radial marca Pneuston del proveedor A, con el menor riesgo reflejado en la desviaciones estándar más baja de las simulaciones.

En esta alternativa, se observan coeficientes de correlación positivos en los conceptos de disponibilidad del producto (0.85), desempeño (0.37), alineación (0.18) y válvulas (0.02) indicando que los cambios en esta son afectados por la dirección de la variable independiente de manera directa y los elementos del costo total balanceo (-0.06), caja con imprevistos (-0.07) y bancos con imprevistos (-0.10) son modificados de manera inversa en relación con la variable independiente (ver anexo C).

Los coeficientes de regresión positivos en los casos de la disponibilidad del producto (0.87), la cual es alta, el desempeño (0.49) y la alineación (0.05) indican que los cambios en esta son afectados por la relación de la variable independiente en proporción directa, en proporción inversa con la caja con imprevistos (-0.03) y banco con imprevistos (-0.04) y una nula relación con las válvulas y el balanceo (ver anexo D).

4.4 Optimización de la adquisición de nuevas unidades a través de un Algoritmo genético

El problema de la limitación de recursos para enfrentar la demanda, afecta los servicios de transportación al no cubrirlos por la falta de unidades siendo conveniente el análisis de la adquisición de nuevas unidades cuyo criterio sea el de obtener las mejores utilidades por la inversión en las unidades transportadoras a valor presente neto y cuyo precio sea accesible para la empresa considerando factores propios de la inversión e información sobre las unidades como modelo, precio, etc.

Dado que el principal criterio es la maximización de las utilidades en la inversión, se analizan los factores correspondientes a la inversión y los gastos en que pudiera incurrirse. En el caso del factor inversión, una vez disminuido el importe correspondiente al enganche de la unidad, se calculan los pagos mensuales a valor futuro y, con estos elementos, se calcula el valor presente neto.

El segundo factor, los gastos en que se incurren, se compone de los elementos falla de las unidades y retraso en la entrega los cuales son contemplados como el costo en que se pueda incurrir.

La aplicación del Algoritmo Genético en esta problemática responde a la aplicación de distribuciones probabilísticas, las cuales pueden modificar los resultados, y, a diferencia de la Programación Lineal, a la necesidad de aplicar ecuaciones no lineales en la determinación de los Valores Futuro de la Inversión (VF) y Presente Neto (VPN) y así, encontrar la mejor solución a valor presente neto a un problema con muchas soluciones probables.

La adquisición de nuevas unidades se representa con un modelo matemático y su decisión se evalúa con el apoyo de las técnicas de valor futuro y valor presente neto. El valor futuro

(ecuación no. 65) es la cantidad a la cual crece ante una serie de flujo de efectivo a través de cierto tiempo a una tasa de interés.

$$VFI = VP (1+i)^t \quad (\text{ecuación no. 65})$$

Donde VFI es el valor futuro de la inversión al final del periodo, VP es la cantidad inicial o valor presente, i la tasa de interés y t el plazo.

El valor presente neto (ecuación no. 66) es igual al valor presente de los flujos de efectivo netos futuros descontados al costo marginal del capital (Brigham y Houston, 2001).

$$VPN = -I + (FE_0 + \frac{FE_1}{(1+k)^1} + \frac{FE_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{FE_n}{(1+k)^n}) \quad (66)$$

Donde I es el valor del desembolso inicial, FE_t es el flujo de efectivo neto esperado en el periodo t , k es el costo de capital del proyecto y n es la vida del proyecto.

Para determinar la óptima utilidad de la inversión, primeramente son considerados las posibilidades económicas de la empresa la cual orientará la inversión en lo que concierne al pago del enganche así como los pagos mensuales correspondientes. Paralelamente, la empresa cotizará las unidades con distintos proveedores de unidades tanto nuevas como usadas con los cuales se recaba la información acerca de las características de la unidad como marca, modelo, año, ejes, dirección, suspensión, estado de la unidad física y mecánica –en caso de unidades usadas- precio, fecha de entrega o disponibilidad en días y forma de pago.

El procedimiento a realizar para determinar la posibilidad económica de la empresa transportista y tomar la decisión de adquirir nuevas unidades, analiza la disponibilidad de inversión sobre la base del capital actual y el interés bancario, pronostica sus ingresos al cierre del año a VPN, y fija la cantidad máxima de pago mensual.

El factor inversión, como se mencionó anteriormente, considera al precio de la unidad, el enganche a pagar y las posibilidades de pago a determinado plazo.

Otra toma de decisión se refiere al proveedor por lo cual se analiza el riesgo y costo de las fallas mecánicas así como en la demora en la entrega.

El estado financiero actual de la empresa indica la situación financiera con la cual enfrenta sus actividades normales e inesperadas así como permitir analizar la disponibilidad económica para la adquisición de unidades. Para esto, se analiza primero la información sobre el capital actual considerando la variación en el tiempo representándose con distribución normal, los ingresos pronosticados hasta el fin de año con distribución triangular cuyo valor se proyecta a futuro, la disponibilidad para invertir y el interés bancario y establece el importe máximo que puede cubrir en pagos mensuales. Un aspecto importante en la planeación económica de la empresa, son los parámetros inciertos los cuales se representan con distribuciones normales y triangulares (cuadro no. 42).

El capital actual es la cantidad monetaria destinada a la operación que puede cambiar por la misma. Se representa con distribución normal considerando como media al capital actual ca y su desviación estándar son las variaciones vr del capital actual (ecuación no. 67).

$$\text{Capital actual: DN}(ca, vr) \quad (67)$$

Capital actual	DN(2000000,400000)
Ingresos pronosticados al cierre de año	DT(800000,1000000,1250000)
Disponibilidad para invertir	0.65* ca
Interés bancario	0.08
VF_i ingresos cierre de año a la fecha	DT(800000,1000000,1250000)*(1+.08) ¹²⁻⁸
Máximo pago mensual	200000

Cuadro no. 42: Flujo monetario

La empresa realiza sus pronósticos de ingresos IP hasta el fin del año para lo cual utiliza tres probables eventos –bajo b , medio m y alto a - y los representa con distribución triangular DT (ecuación no. 68).

$$IP: DT(b,m,a) \quad (68)$$

Del capital, la empresa dispone un monto monetario para invertir en la adquisición de las unidades di igual a un porcentaje del 65% (ecuación no. 69):

$$di = 0.65*ca \quad (69)$$

La empresa valúa sus ingresos pronosticados IP a valor futuro VF_i para el fin de año a una tasa i del 0.08% y un plazo t menor al año n (ecuación no. 70)

$$VF_i = IP*(1+i)^{t-n} \quad (70)$$

La empresa, tiene varias opciones para adquirir tractocamiones, semirremolques y remolques con distintos proveedores los cuales son enlistados en el cuadro no. 43.

Unidad	Proveedor	Modelo	Año	Precio Unidad	Estado	Estado mecánico
Tractocamión	A	K-600	2008	\$1,145,000.00	Nuevo	Bueno
Tractocamión	B	T-800	2006	\$895,000.00	Usado	Malo
Tractocamión	C	T-800	2004	\$750,000.00	Usado	Regular
Semiremolque	D	Chisti	2008	\$286,000.00	Nuevo	Bueno
Semiremolque	E	Kaiser	2007	\$500,000.00	Usado	Regular
Remolque		TYRT	2007	\$385,000.00	Nuevo	Bueno

Cuadro no. 43: Características de la unidad

Determinada la disponibilidad financiera y con la información recabada de los proveedores, la empresa define acerca de la aceptación del crédito, establece el enganche el saldo y el pago mensual.

El factor inversión de la unidad considera la adquisición a crédito de manera que al precio total de la unidad se le resta la cantidad pagada por concepto de enganche y la diferencia, o saldo, permite definir las mensualidades a pagar, previa aceptación del crédito (cuadro no. 44).

	Proveedor	Modelo	Aceptación Crédito	Enganche	Saldo	Mensualidad
Tractocamión	A	K-600	DB(1,0.9)	$p_u * \%$	$p_u - E$	DN(9,3)
Tractocamión	B	T-800	DB(1,0.7)			DU(6,12)
Tractocamión	C	T-800	0			DU(3,12)
Semiremolque	D	Chisti	DB(1,0.3)			
Semiremolque	E	Kaiser	DB(1,0.7)			DU(3,6)
Remolque		TYRT	DB(1,0.7)			

Cuadro no. 44: Adquisición a crédito

La aceptación del crédito ac , es representado con distribución binomial pues corresponde al número de eventos s e is que se producen en un juicio de un conjunto de eventos independientes con la misma probabilidad de suceso (ecuación no. 71).

$$ac = DB(s, is) \quad (71)$$

Para la adquisición de la unidad a crédito, primero se establece el enganche E a pagar el cual es una tasa porcentual $\%$ sobre el precio de la unidad p_u (ecuación no. 72).

$$E = p_u * \% \quad (72)$$

El saldo por pagar S de la inversión es la diferencia entre el precio de la unidad p_u y el enganche E que se paga (ecuación no. 73).

$$S = p_u - E \quad (73)$$

El saldo a pagar es la base para los pagos mensuales p durante un periodo de tiempo t o mensualidades los cuales son considerados a valor futuro (cuadro no. 45)

	Proveedor	Modelo	Periodo de tiempo	Importe mensual	Valor futuro de la mensualidad
Tractocamión	A	K-600	$\sim \eta(x_i; 9,3)$	$\frac{S}{DN(t, \sigma)}$	$p + \Sigma p^*(1+i)^t$
Tractocamión	B	T-800	DU(6,12)	$\frac{S}{DU(t, \sigma)}$	
Tractocamión	C	T-800	DU(3,12)		
Semiremolque	D	Chisti			
Semiremolque	E	Kaiser	DU(3,6)		
Remolque		TYRT			

Cuadro no. 45: Análisis del pago mensual

El periodo de tiempo, se representa con distribución normal en el caso del proveedor A y los demás proveedores se representan con distribución uniforme y cuyos valores corresponden a los meses t y su dispersión σ (ecuaciones nos. 74 y 75).

Los pagos mensuales p son resultado de dividir el saldo S entre el periodo de tiempo t sobre los cuales se establecerá un valor futuro (ecuación no. 98).

$$p = \frac{S}{DN(t, \sigma)} \quad (74)$$

$$p = \frac{S}{DU(t, \sigma)} \quad (75)$$

Los pagos mensuales son evaluados a valor futuro VF con la finalidad de expresar el valor de la inversión a una fecha futura (ecuación no. 76).

$$VFI = p + \Sigma p^*(1+i)^t \quad (76)$$

En el costo de la adquisición son importantes las fallas mecánicas (cuadro no. 38) y el periodo de entrega inoportuno de las unidades por adquirir pues pueden causar costos adicionales.

Las fallas mecánicas f (cuadro no. 46) se representan con distribución binomial pues corresponde al número de eventos s e is que se producen en un juicio de un conjunto de eventos independientes de igual probabilidad (ecuación no. 77); la gravedad g de estas, se representan con distribución uniforme con valores mínimos m_n y máximos m_x (ecuación no. 78) –en muchas situaciones de incertidumbre, la probabilidad relativa de otros resultados disminuye conforme se aleja del valor base- y el costo de la falla cuantifica monetariamente la gravedad representándose con distribución normal elegida de acuerdo al grado de la falla y estableciendo una media I_m y su desviación I_d los cuales corresponden a las cantidades monetarias (ecuación no. 79).

$$f = DB(s, is) \quad (77)$$

$$g = (m_n, m_x) \quad (78)$$

$$\text{Costo falla: } DN(I_m, I_d) \quad (79)$$

	Proveedor	Modelo	Probabilidad de falla	Gravedad	Costo falla
Tractocamión	A	K-600	DB(1,0.05)	DU(0,0.4)	DN(15000,5000) ó DN(20000,10000)
Tractocamión	B	T-800	DB(1,0.5)	DU(0.3,0.99)	
Tractocamión	C	T-800	DB(1,0.03)	DU(0.25,0.75)	
Semiremolque	D	Chisti	DB(1,0.1)	DU(0,0.4)	
Semiremolque	E	Kaiser	DB(1,0.4)0	DU(0.25,0.75)	
Remolque		TYRT	DB(1,0.15)	DU(0,0.4)	

Cuadro no. 46: Análisis de las fallas en las unidades

El periodo de entrega es el periodo de tiempo que puede tardar el proveedor en realizar la entrega de la unidad correspondiente (cuadro no. 47), cuya disponibilidad d se representa con distribuciones uniforme U_A para el caso de la unidad adquirida con el proveedor A en la cual solo se establecen los valores mínimo m_n y máximo m_x y distribución triangular U_R con valores bajo b , medio m y alto a el resto de los proveedores (ecuaciones nos. 80 y 81)

$$U_A: d = DU(m_n, m_x) \quad (80)$$

$$U_R: d=DT(b,m,a) \quad (81)$$

Los días de entrega e se representan con distribución uniforme con valores mínimo m_n y máximo m_x (ecuación no. 82), distribución que es elegida de acuerdo a la disponibilidad.

$$e=DU(m_n,m_x) \quad (82)$$

El producto de los días de entrega e por un importe de penalización p_e es el costo por el retraso en la entrega c_e (ecuación no. 83). Los valores máximos y mínimos en cada caso de distribución son distintos.

$$c_e=e*p_e \quad (83)$$

	Proveedor	Modelo	Disponibilidad	Días entrega	Costo retraso
Tractocamión	A	K-600	DU(0,0.4)	DU(4,10) ó DU(11,15)	e*1500
Tractocamión	B	T-800	DT(0,0.5,1)		
Tractocamión	C	T-800	DT(0,0.03,0.5)		
Semiremolque	D	Chisti	DU(0.3,0.99)		
Semiremolque	E	Kaiser	DT(0.,0.5,1)0		
Remolque		TYRT	DU(0.6,0.99)		

Cuadro no. 47: Análisis de la entrega de las unidades

El modelo matemático de optimización comprende una función objetivo donde la maximización de las utilidades es resultado del valor presente neto de la unidad menos los gastos (ecuación no. 84), aplicado a cada tipo de unidad, sujeta a restricciones de inversión inicial, adquisición de un tractocamión, compra de hasta 3 unidades, restricción de pago mensual y la restricción lógica o de números enteros.

$$\text{Maximizar } U = \text{VPN}_U - G \quad (84)$$

Con la finalidad de hacer más analítica la expresión de maximización, en la ecuación no. 85 es reexpresada.

$$\text{Maximizar } U = \left(\frac{E}{1+i} + \frac{VF_i}{(1+i)^2} \right) - (f + r) \quad (85)$$

Las restricciones a las cuales se sujeta la optimización, son de inversión inicial en tractocamión T_n , Semirremolque S_n y Remolque R (ecuación no. 86), adquisición de solo un tractocamión (ecuación no. 87), adquisición hasta tres unidades (ecuación no. 88), pago mensual p_n (ecuación no. 89) y lógica (ecuación no. 90).

a) Restricción de inversión inicial:

$$(\text{VPN}_U - G)T_1 + (\text{VPN}_U - G)T_2 + (\text{VPN}_U - G)T_3 + (\text{VPN}_U - G)S_1 + (\text{VPN}_U - G)S_2 + (\text{VPN}_U - G)R_1 \leq \text{di} \quad (86)$$

b) Restricción para adquirir solo un tractocamión:

$$T_1 + T_2 + T_3 \leq 1 \quad (87)$$

c) Adquisición hasta tres unidades:

$$T1 + T2 + T3 + S1 + S2 + R1 \leq 3 \quad (88)$$

d) Restricción de pago mensual p :

$$pT1+pT2+pT3+pS1+pS2+pR1 \leq \text{máximo pago mensual} \quad (89)$$

e) Restricción lógica:

$$\text{Todas las variables } T_n, S_n \text{ y } R_n \text{ son enteras} \quad (90)$$

Dado que el modelo es optimizado por un algoritmo genético a través del programa RISKOptimizer, la aplicación se configura para que maximice el resultado y emplee la media estadística, se conserva la configuración de la tasa de cruzamiento del 0.5 la cual permite al organismo embrión presentar el 50% de sus valores de variables de un padre y el restante del otro progenitor y la tasa de mutación de 0.1 que genera escenarios aleatorios pues se sucede después del cruce, una mayor tasa impide efectos del cruce. El tamaño de la población se fija en 50 para obtener la solución en menos tiempo; se establece una “semilla generadora de números aleatorios” o algoritmo de elección de número al azar que crea rutinas generadores de variables aleatorias con distribuciones específicas. El tiempo de ejecución para la optimización se establece en 5 minutos y 1000 simulaciones.

En esta optimización, se utilizan restricciones tanto “duras” como “suaves”. Las primeras, son aquellas que deben encontrarse y son el número de tractocamiones y el total de las unidades adquiridas; las restricciones “suaves” corresponden a las restricciones que el programa tiende a encontrar, son más realistas y permiten intentar una mayor cantidad de opciones como son la inversión inicial y la mensualidad total.

4.4.1 Solución a la optimización de la adquisición de unidades

Al capturarse la información en el modelo matemático y ejecutarse con el programa RISKOptimizer, se establecen las utilidades que cada una de la unidades puede producir así como la mejor decisión en la adquisición de recursos, unidades tractoras y de arrastre.

Al optimizarse el modelo matemático de Adquisición de unidades, se observa la conveniencia de la adquisición de un tractocamión al proveedor A, 1 semirremolque del proveedor D y 1 remolque al proveedor E con las cuales se obtienen utilidades a valor presente neto que ascienden a \$1'239,053.00, \$275,500.00 y \$461,465.00, respectivamente, mismas que suman una utilidad total a valor presente neto \$1'976,018.00 (cuadro no. 48).

4.5 Selección de operadores

Ante la adquisición de nuevas unidades, es necesario seleccionar operadores bajo el riesgo de que no cuenten con la suficiente aptitud ante la responsabilidad de evitar los accidentes los cuales pueden tener repercusiones humanas y/o físicas ya que las unidades representan una importante

inversión siendo necesario para esto, establecer las cualidades requeridas así como su calificación.

Unidad	Proveedor	Modelo	Año	Precio Unidad	Utilidad	Solución	Máxima Utilidad total
Tractocamión	A	K-600	2008	\$1,145,000.00	\$1,239,053	1	\$1,976,018
Tractocamión	B	T-800	2006	\$895,000.00	\$944,776	0	
Tractocamión	C	T-800	2004	\$750,000.00	\$732,750	0	
Semiremolque	D	Chisti	2008	\$286,000.00	\$275,500	1	
Semiremolque	E	Kaiser	2007	\$500,000.00	\$461,465	1	
Remolque		TYRT	2007	\$385,000.00	\$355,463	0	

Cuadro no. 48: Resumen de la optimización de las utilidades a valor presente neto

La simulación para la toma de decisión del candidato óptimo es planteada con variables cualitativas cuantificables con el apoyo de valores discretos, distribuciones probabilísticas y ponderaciones subjetivas, tales como la edad, los años de experiencia, la habilidad en el manejo, el examen psicológico, el estado civil, los estudios terminados, las referencias personales, los antecedentes penales, las deudas en el buró de crédito y la licencia de chofer vigente de forma que pueda evaluarse cuantitativamente tales cualidades.

Con esta simulación se atiende la actividad de la selección de operadores, a través de la manipulación de variables aleatorias las cuales se convierten en distribución de probabilidad imitando la realidad y estimando su valor; al variar el valor de algunos parámetros y variables independientes y repitiendo el proceso de muestreo aleatorio, se mide el efecto sobre la variable estocástica elegida y la conducta simulada se utiliza como entrada al proceso de toma de decisiones del autotransporte de carga conociendo así, el impacto de las variables de decisión y, además, permite validar el modelo maestro representado en la figura no. 54 “Contratación de operadores”.

Para cada una de las variables cualitativas a evaluar, en términos generales, se definen las posibles calificaciones o atributos de un candidato asignándosele a cada calificación un valor discreto el cual es ponderado, al igual que los atributos deseados, con valores numéricos siendo el resultado de cada calificación un componente útil en la suma de todas las cualidades mencionadas.

Se introducen las distribuciones de probabilidad las cuales pueden ser, según la naturaleza de los datos, normales o discretas y de “truncamiento” es decir, la distribución se restringe a muestras provenientes de la distribución a valores dentro del rango mínimo-máximo especificado. Se agregan las funciones de salidas de simulación donde se registra el resultado de cada factor evaluado, así como en la celda correspondiente a la suma de la puntuación de todos los factores.

4.5.1 Desarrollo del modelo de Simulación para la selección de operadores

La selección de operadores dentro de la empresa transportista es una actividad importante dada la responsabilidad de los operadores sobre la carga y la unidad transportadora en la movilización de

las unidades. Tal actividad conlleva un sistema el cual, a grandes rasgos, consiste en determinar el mejor operador de la unidad transportadora sobre la base del análisis de los factores cualitativos edad, años de experiencia, habilidad en el manejo, examen psicológico, estado civil, estudios terminados, referencias personales, antecedentes penales, deudas en el buró de crédito y licencia de chofer vigente de forma cuantitativa.

La simulación en la selección del óptimo operador, busca representar el proceso a seguir el cual necesita, en términos generales, la información cualitativa de los candidatos reclutados, misma que será cuantificada para su simulación. Para esto, la simulación pondera la calificación final del candidato, de acorde a la experiencia de la empresa, como criterio para la toma de decisiones para la selección del operador.

Este objetivo comprende a los factores cualitativos edad, años de experiencia, habilidad en el manejo, examen psicológico, estado civil, estudios terminados, referencias personales, antecedentes penales, deudas en el buró de crédito y licencia de chofer vigente representados en la ecuación no. 91.

$$E_c = e + a_e + h + e_p + e_c + e_t + r + a_p + b_c + l_c \quad (91)$$

Expresión compuesta por la siguiente nomenclatura:

E_c = evaluación del candidato,

e = edad del candidato,

a_e = años de experiencia,

h = habilidad en el manejo,

e_p = examen psicológico,

e_c = estado civil,

e_t = estudios terminados,

r = referencias personales

a_p = antecedentes penales,

b_c = deudas en el buró de crédito y

l_c = licencia de chofer vigente.

Cada uno de los factores involucrados en la selección del operador, son analizados de forma detallada a continuación.

4.5.1.1 Edad

El factor edad es el tiempo que ha vivido una persona quien, para efectos de poder ser contratado requiere ser mayor de edad, edad establecida por la ley de 18 años y con la cual puede aspirarse a poseer una licencia de chofer vigente, siendo el motivo por el que es el límite mínimo. Por el

contrario, con la finalidad de contratar a personas con la licencia de manejo vigente y capacidad física y mental propia para la actividad, se establece el límite máximo para la edad de 55 años.

Dentro de los límites de edad, se establecen rangos de 5 años a los cuales la empresa les asigna una ponderación con la finalidad de reflejar su preferencia; por ejemplo, el rango comprendido por una edad entre 31 y 35 años le asigna la mayor ponderación y sobre la base de la preferencia le asigna a cada rango una ponderación diferente y menor (cuadro no. 49).

RANGO	PONDERACIÓN
18-25	0.4
26-30	0.9
31-35	1
36-40	0.8
41-45	0.6
46-50	0.5
51-55	0.3

Cuadro no. 49: Clasificación edad

Con la información establecida, se califica la edad representándola con distribución normal DN con una edad media $\bar{e}_d$ y su desviación estándar σ (ecuación no. 92) y se “truncan” las edades mínima y máxima, obteniéndose así la ponderación de la edad.

$$DN(\bar{e}_d, \sigma) \quad (92)$$

Ejemplo de lo anterior puede observarse en el cuadro no. 38 en el cual se muestra la distribución normal para la calificación de la edad la cual se encuentra en el rango 36-40 años (cuadro no. 50)

	CALIFICACIONES	PONDERACION
EDAD	$DN(\bar{e}_d, \sigma)$	0.8

Cuadro no. 50: Ponderación edad

4.5.1.2 Años de experiencia

Los años de experiencia es la práctica como chofer de tractocamiones del candidato a través de los años la cual le proporciona conocimiento o habilidad para operarlos. Esta experiencia se encuentra ligada a los años de edad del candidato pues a menor edad del candidato menores años de experiencia y a mayor edad y dedicación a la operación de transportes de carga, mayor la experiencia.

Paralelamente a los rangos establecidos por la edad, se establecen rangos para los años de experiencia los cuales van desde los 0 años, que corresponde a los 18 años, hasta más de 12 y cada uno de los rangos se pondera subjetivamente dándole un mayor peso al rango de mayor preferencia por la empresa transportista y un menor peso al resto de los rangos de años de experiencia (cuadro no. 51).

Dada la relación entre la edad y la experiencia, el rango de la edad previamente establecido es nuevamente ponderado con distribución normal (ecuación no. 93) recurriendo a los rangos establecidos para la experiencia $\bar{e}_p$.

$$DN(\bar{e}_p, \sigma) \quad (93)$$

RANGO	PONDERACIÓN
0 a 2	0.6
3 a 8	1
9 a 12	0.8
más de 12	0.6

Cuadro no. 51: Clasificación de la experiencia

Ejemplo de lo anterior puede observarse en el cuadro no. 52 en el cual se muestra la distribución normal para la calificación de la edad.

RANGO	RELACION EDAD/EXPERIENCIA.
18-25	DN($\bar{e}_p, \sigma$)
26-30	
31-35	
36-40	
41-45	
46-50	
51-55	

Cuadro no. 52: Relación edad/experiencia

El resultado es relacionado con la calificación de la edad, establecida en el anterior inciso, para determinar, primeramente, la calificación de la experiencia y, finalmente, la ponderación correspondiente a los años de experiencia.

Un ejemplo de esto, se expresa en el cuadro no. cuadro no. 53 en el cual, la calificación relaciona la edad con la experiencia, representada con distribución normal, establecido en el rango de 9 a 12 años con la ponderación de 0.8.

	CALIFICACION	PONDERACION
AÑOS EXPERIENCIA	DN($\bar{e}_p, \sigma$)	0.8

Cuadro no. 53: Ponderación años de experiencia

4.5.1.3 Habilidad en el manejo

La habilidad en el manejo es la destreza de los operadores para conducir las unidades de autotransporte de carga a través de las diversas rutas y condiciones tanto físicas como climáticas. La evaluación de la habilidad del operador en la conducción de la unidad se basa sobre los valores cualitativos de excelente, bueno, regular, malo y pésimo, a los cuales se les asigna un valor discreto entre el 1 y el 5 para su cuantificación, así como una probabilidad y una ponderación subjetivas jerarquizadas sobre la preferencia de la empresa transportista (cuadro no. 54).

HABILIDAD	V.DISCRETO	PROBABILIDAD	PONDERACIÓN
Excelente	1	0.15	1
Bueno	2	0.3	0.8
Regular	3	0.3	0.5
Malo	4	0.2	0.3
Pésimo	5	0.05	0

Cuadro no. 54: Clasificación habilidad

La calificación del operador es resultado de la representación del valor discreto con distribución discreta con los valores discretos $\bar{v}_d$ y la probabilidad asignada previamente σ (ecuación no. 94).

$$DD(\bar{v}_d, \sigma) \quad (94)$$

Con la calificación del operador y el valor discreto establecido, se obtiene la ponderación de la habilidad en el manejo.

En el cuadro no. 55 se proporciona un ejemplo donde se observa la ponderación resultante de la calificación “Excelente” y el valor discreto representado con distribución discreta.

FACTOR	CALIFICACION	V. DISCRETO	PONDERACION
HABILIDAD EN EL MANEJO	Excelente	$DD(\bar{v}_d, \sigma)$	1

Cuadro no. 55: Ponderación de la habilidad en el manejo

4.5.1.4 Examen psicológico

El test o examen psicológico es un instrumento experimental el cual mide o evalúa una característica psicológica específica o los rasgos generales de la personalidad de un individuo de forma que el comportamiento individual pueda ser valorado en comparación con otros individuos sometidos a la misma situación experimental, permitiendo clasificar al candidato. Esta evaluación es numérica del 0 al 100 y se distribuye en cuatro rangos a los cuales se les asigna un valor discreto entre el 1 y el 4, una probabilidad de suceso y una ponderación asignados por la empresa transportista con un peso preferencial de conformidad a su experiencia (cuadro no. 56).

RANGO	V.DISCRETO	PROBABILIDAD	PONDERACIÓN
81-100	1	0.1	1
61-80	2	0.65	0.8
41-60	3	0.15	0.6
< 41	4	0.1	0

Cuadro no. 56: Clasificación test psicológico

La calificación del examen es resultado de la representación del valor discreto con distribución discreta con los valores discretos $\bar{e}_p$ y la probabilidad asignada previamente σ (ecuación no. 95).

$$DD(\bar{e}_p, \sigma) \quad (95)$$

Con la calificación del examen y el valor discreto, se obtiene la ponderación útil para determinar al mejor candidato.

Un ejemplo de este factor, se presenta en el cuadro no. 57 donde puede observarse que la ponderación final la cual se da en el rango de 61 a 80 puntos así como la representación con probabilidad discreta.

FACTOR	CALIFICACION	V. DISCRETO	PONDERACION
PRUEBA PSICOLÓGICA	68	$DD(\bar{e}_p, \sigma)$	0.8

Cuadro no. 57: Ponderación del test psicológico

4.5.1.5 Estado civil

El estado civil es la situación de las personas físicas determinada por sus relaciones de familia, provenientes del matrimonio, al cual la empresa le establece una importancia según el compromiso y responsabilidad que pueda asumir el candidato por esta situación.

La evaluación del estado civil, analiza las opciones de un estado, casado o soltero, a las cuales les asigna un valor discreto, probabilidad y lo pondera; la empresa tiene preferencia por la contratación de operadores con estado civil casado y por dicho motivo le da mayor ponderación (cuadro no. 58).

ESTADO	V.DISCRETO	PROBABILIDAD	PONDERACIÓN
Casado	1	0.6	1
Soltero	2	0.4	0.7

Cuadro no. 58: Clasificación estado civil

La calificación del estado civil es resultado de la representación del valor discreto con distribución discreta con los valores discretos $\bar{e}_c$ y la probabilidad asignada previamente σ (ecuación no. 96).

$$DD(\bar{e}_d, \sigma) \quad (96)$$

Con la calificación del estado civil y el valor discreto, se obtiene la ponderación correspondiente.

Con el cuadro no. 59, se ejemplifica la ponderación resultado del estado “Casado” y la representación con probabilidad discreta.

FACTOR	CALIFICACION	V. DISCRETO	PONDERACION
ESTADO CIVIL	Casado	$DD(\bar{e}_d, \sigma)$	1

Cuadro no. 59: Ponderación estado civil

4.5.1.6 Estudios terminados o nivel educativo del operador

El nivel educativo indica el grado de estudios formales dentro de una institución educativa realizados por el candidato a operador de la unidad de autotransporte de carga.

De acuerdo al perfil de puesto, se pueden aceptar candidatos con primaria, secundaria y preparatoria terminada a los cuales se les asigna un valor discreto, una probabilidad y una ponderación subjetivas en las cuales la empresa asigna un mayor valor al nivel de su preferencia (cuadro no. 60).

FACTOR	V.DISCRETO	PROBABILIDAD	PONDERACIÓN
primaria	1	0.2	0.5
Secundaria	2	0.6	0.7
Preparatoria	3	0.2	1

Cuadro no. 60: Clasificación de los estudios

La calificación de los estudios terminados del operador es resultado de la representación del valor discreto con distribución discreta con los valores discretos $\bar{e}_t$ y la probabilidad asignada previamente σ (ecuación no. 97).

$$DD(\bar{e}_t, \sigma) \quad (97)$$

Con la calificación del operador y el valor discreto, se obtiene la ponderación del nivel de estudios.

En el cuadro no. 61 se presenta un ejemplo en el cual se observa la preferencia de la empresa por el grado de estudios “Preparatoria” así como representación con distribución discreta.

FACTOR	CALIFICACION	V. DISCRETO	PONDERACION
ESTUDIOS TERMINADOS	Preparatoria	$DD(\bar{e}_t, \sigma)$	1

Cuadro no. 61: Ponderación estudios

4.5.1.7 Referencias personales

Las referencias personales, se refieren a la información proporcionada por terceros acerca de la probidad, solvencia u otras cualidades del candidato, e indican la confiabilidad de tales referencias manifestadas, considerando que es mucho más objetiva una referencia laboral, después una referencia de algún familiar y por último la referencia de un amigo o conocido a quienes se les asigna un valor discreto, una probabilidad y una ponderación subjetivas de acuerdo a la preferencia de la empresa (cuadro no. 62).

	V. DISCRETO	PROBABILIDAD	PONDERACIÓN
Trabajo	1	0.1	1
Familiar	2	0.3	0.5
Amigo	3	0.6	0.4

Cuadro no. 62: Clasificación referencias personales

La calificación de las referencias personales del operador es resultado de la representación del valor discreto con distribución discreta con los valores discretos $\bar{r}_p$ y la probabilidad asignada previamente σ (ecuación no. 98).

$$DD(\bar{r}_p, \sigma) \quad (98)$$

Con la calificación del operador y el valor discreto, se obtiene la ponderación de las referencias personales.

En el cuadro no. 63 se presenta un ejemplo en el cual se observa la ponderación de 0.5 para una referencia familiar así como la representación con distribución discreta.

FACTOR	CALIFICACION	V. DISCRETO	PONDERACION
REFERENCIAS PERSONALES	Familiar	$DD(\bar{r}_p, \sigma)$	0.5

Cuadro no. 63: Ponderación de las referencias personales

4.5.1.8 Antecedentes penales

Los antecedentes penales indican la ausencia o existencia de precedentes legales bajo una probabilidad subjetiva a los cuales la empresa le asigna un mayor valor de acuerdo a su preferencia (cuadro no. 64).

	V. DISCRETO	PROBABILIDAD	PONDERACIÓN
No	1	0.5	1
Si	2	0.5	0.3

Cuadro no. 64: Clasificación antecedentes penales

La calificación de los antecedentes penales del operador es resultado de la representación del valor discreto con distribución discreta con los valores discretos $\bar{a}_p$ y la probabilidad asignada previamente σ (ecuación no. 99).

$$DD(\bar{a}_p, \sigma) \quad (99)$$

Con la calificación del operador y el valor discreto, se obtiene la ponderación de los antecedentes penales

En el cuadro no. 65, se ejemplifica la ponderación correspondiente a la inexistencia de antecedentes penales así como la representación con distribución discreta.

FACTOR	CALIFICACION	V. DISCRETO	PONDERACION
ANTECEDENTES PENALES	No	$DD(\bar{a}_p, \sigma)$	1

Cuadro no. 65: Ponderación antecedentes penales

4.5.1.9 Deudas en el buró de crédito

Las deudas en el buró de crédito informan sobre la responsabilidad del candidato en el cumplimiento de las obligaciones económicas contraídas representándose con probabilidad subjetiva y ponderación asignados de acuerdo a la preferencia de la empresa (cuadro no. 66).

	V. DISCRETO	PROBABILIDAD	PONDERACIÓN
Si	1	0.5	0.4
No	2	0.5	1

Cuadro no. 66: Clasificación deudas en el buró

La calificación del historial crediticio del operador es resultado de la representación del valor discreto con distribución discreta con los valores discretos $\bar{h}_c$ y la probabilidad asignada previamente σ (ecuación no. 100).

$$DD(\bar{h}_c, \sigma) \quad (100)$$

Con la calificación del operador y el valor discreto, se obtiene la ponderación del historial crediticio.

En el cuadro no. 67, se ejemplifica el resultado de la simulación de un candidato con calificación afirmativa de este factor así como la representación de la distribución discreta.

FACTOR	CALIFICACION	V. DISCRETO	PONDERACION
DEUDAS BURÓ DE CREDITO	Si	$DD(\bar{h}_c, \sigma)$	0.4

Cuadro no. 67: Ponderación deudas en el buró de crédito

4.5.1.10 Licencia de chofer vigente

Este factor se refiere al hecho de que el candidato cuente con licencia de chofer vigente y tiene como finalidad evitar el riesgo de que un candidato sin licencia opere alguna de las unidades de la empresa (cuadro no. 68).

FACTOR	VALOR DISCRETO	PROBABILIDAD	PONDERACIÓN
Si	1	0.75	1
No	2	0.25	0

Cuadro no. 68: Clasificación licencia de chofer

La calificación de la posesión de la licencia de chofer vigente es resultado de la representación del valor discreto con distribución discreta cuyos valores discretos son $\bar{l}_c$ y la probabilidad asignada previamente σ (ecuación no. 101).

$$DD(\bar{l}_c, \sigma) \quad (101)$$

Con la calificación del operador y el valor discreto, se obtiene la ponderación de la licencia de chofer vigente.

En el cuadro no. 69 se ejemplifica un caso donde el candidato presenta licencia vigente por lo cual es ponderado con 1 así como la representación con distribución discreta.

FACTOR	CALIFICACION	V. DISCRETO	PONDERACION
LICENCIA VIGENTE	Si	$DD(\bar{l}_c, \sigma)$	1

Cuadro no. 69: Ponderación licencia vigente

4.5.2 Solución a la simulación de la contratación de operadores

El modelo de simulación es ejecutado con el programa @RISK, el cual fue configurado con características tanto generales como de muestreo. Las características generales indican la entrada de la cantidad de ejecuciones y especifica el tipo de valor que retorna por las distribuciones durante el recálculo. Así, el total de simulaciones que serán ejecutadas son 10, cantidad que corresponde a los candidatos a operador de unidades; cada una de las tienen 1 simulaciones iteración.

La configuración de muestreo permite especificar la forma en que se generan las muestras y se guardan durante una simulación. En este caso, se recurre al tipo Latino hipercúbico el cual selecciona un muestreo estratificado y no convencional (Monte Carlo). El generador de los números, crea los números aleatorios aplicándose el tipo Mersenne Twister el cual genera números pseudoaleatorios equidistribuidos. La semilla o número inicial es definido para generar

los números aleatorios; las simulaciones múltiples especifican el valor de la semilla a utilizar la cual, en este caso, es instruida la utilización de una semilla diferente en cada simulación en una corrida de múltiples simulaciones.

Configurado el programa, se fija la celda con la función de salida o *RiskOutput* en el cual son identificadas las celdas de salida de cada uno de los factores a evaluar para la selección del candidato.

En la transportación terrestre, la eficiencia de los operadores se traduce en oportunidad en las entregas y seguridad evitando así afectar la operación por el retraso del servicio y entregando la carga completa y en buen estado.

Las calificaciones y ponderaciones de cada uno de los factores por candidato se relacionan y suman obteniéndose de esta forma la ponderación final; en el cuadro no. 70 se presenta el resultado de 1 simulación a manera de ejemplo.

	FACTOR	CALIFICACION	V. DISC.	PONDERACION
1	EDAD	38		1
2	AÑOS DE EXPERIENCIA	14		0.8
3	HABILIDAD EN EL MANEJO	Excelente	1	1
4	TEST PSICOLÓGICO	66	2	0.8
5	ESTADO CIVIL	Casado	1	1
6	ESTUDIOS TERMINADOS	Secundaria	2	0.5
7	REFERENCIAS PERSONALES	Familiar	2	0.4
8	ANTECEDENTES PENALES	No	1	1
9	DEUDAS EN BURÓ DE CREDITO	Si	1	0.4
10	LICENCIA CHOFER VIGENTE	Si	1	1
			Suma	7.9

Cuadro no. 70: Calificación final

Con una simulación @Risk, se evalúan los 10 candidatos conforme a las necesidades del puesto y políticas de la empresa. En este caso, se utilizaron 10 simulaciones correspondientes al comportamiento de las variables para 10 candidatos diferentes considerando una iteración para cada persona pudiéndose observar las ponderaciones totales por cada uno de los candidatos. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro no. 38.

Al graficar la celda «suma», se observa la tendencia del comportamiento de las simulaciones efectuadas sin intervalo de confianza pues el valor de salida es puntual y, además, se identifican a los mejores candidatos con los nos. 5 y 10 quienes cubren con mayor eficiencia los requerimientos del puesto (figura no. 71).

candidato	Factor										Suma
	Edad	Experiencia	Manejo	Examen Psic.	Estado Civil	Estudios	Referencias	Antecedentes Penales	Deudas	Licencia	
1	0.4	0.6	0.8	1	0.7	0.5	0.4	1	0.4	1	6.8
2	0.5	0.6	0.3	0.8	1	0.7	0.4	1	1	1	7.3
3	1	0.8	1	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.4	1	6.9
4	0.6	0.8	0.5	0.8	0.7	0.5	1	1	1	0	6.9
5	1	1	1	0.8	0.7	0.5	0.4	1	1	1	8.4
6	0.4	0.6	0.5	0.8	1	1	0.4	1	1	1	7.7
7	0.5	0.6	0.8	0.8	1	0.7	0.4	0.3	1	1	7.1
8	0.3	0.6	0.8	0	1	0.7	0.5	0.3	1	1	6.2
9	1	0.8	0.3	0.8	1	0.7	0.5	1	0.4	0	6.5
10	0.8	0.8	1	0.8	1	0.7	1	0.3	1	1	8.4

Cuadro no. 71: Evaluación total de los candidatos

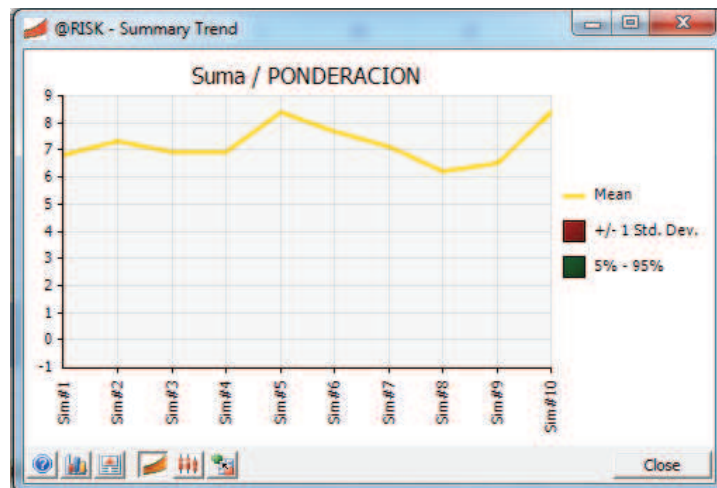


Figura no. 56: Resumen de tendencias contratación

CAPITULO 5:
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

Durante las últimas décadas, el comercio internacional ha vivido cambios profundos debido a las reestructuraciones en las relaciones comerciales entre los países reflejada en la globalización de los mercados lo cual ha ocasionado una mayor apertura de las fronteras permitiendo una mayor movilización de mercancías a través de los distintos medios de transportes obligando a los países a introducir cambios en sus legislaciones y prácticas.

La movilización de las mercancías ha exigido medios de transporte más eficaces lo que ha redundado en el mercado mexicano el cual, desde 1989, a raíz del Tratado de libre comercio, sufrió una gran transformación por la modificación de las leyes a los transportes públicos las cuales buscan una mayor productividad por medio de la liberación de la competencia en la transportación terrestre e integrando la logística de las actividades económicas promoviendo la fijación de precios reales y competitivos. Este proceso aceleró la segregación en la industria donde participan una gran cantidad de individuos y empresas pequeñas quienes cubren gran parte de las distancias cortas a nivel nacional y aumentó el rango de servicios proporcionados, así como la participación de una cantidad limitada de grandes empresas con un número muy superior de unidades de transporte orientadas a la prestación de los servicios de transporte, de larga distancia y/o especializado, con unidades diseñadas especialmente para realizar el servicio.

Paralelo a la segregación, las pequeñas empresas transportistas han sufrido de incrementos en los precios de los artículos que componen su canasta básica, tales como el combustible, las casetas de pagos, las refacciones, etc., situaciones que pueden afectar la rentabilidad de la empresa lo cual provoca el incremento en los costos y el ajuste en los precios del servicio, con lo cuales se enfrenta para responder con mayor competitividad.

La rentabilidad de las empresas transportistas depende de la contratación de los viajes de carga para transportar de manera que se optimicen los ingresos con los recursos que tengan disponibles y se disminuyan los costos para que de esta forma sean maximizadas las utilidades mismas que pueden ser reinvertidas tanto en el mantenimiento de los recursos que posee así como su acrecentamiento con la adquisición de nuevas unidades y la contratación de operadores adicionales para dar un mayor y mejor servicio de movilización terrestre de la carga que le proporcione mayores utilidades.

Lograr un sistema real de apoyo para una toma de decisiones la cual implique una multiplicidad de criterios, necesita entender todas las problemáticas de ésta misma y reconocer cuales son los parámetros determinísticos así como los inciertos y cuyos resultados muestren todos los valores con los cuales se debe trabajar y lograr modelar una toma de decisiones concernientes a la selección de los servicios de autotransportación de carga, la asignación de unidades a los servicios mencionados, la adquisición de llantas para las unidades transportadoras que lo requieran, las adquisiciones de unidades con la finalidad de ampliar la flota para dar un mayor servicio y la selección de operadores de tractocamión quienes guíen las unidades en la realización

del servicio de manera segura y confiable, para así poder dar un mejor y mayor servicio redituable para la empresa transportista.

Una de las formas para enfrentar tal situación para la toma de decisiones, es conocido como Problema del ruteo vehicular el cual se ha desarrollado sobre la base del análisis de las kilómetros que una unidad de carga puede recorrer durante la entrega de productos a partir de un punto de origen y la cantidad de “paradas” que se pueden realizar dentro de la ruta asignada para que al término de estas regresen al punto de destino.

Desde el inicio del análisis al problema del ruteo vehicular, ha sido común la utilización de modelos determinísticos con la técnica de programación lineal y considerando variables discretas cuyo objetivo ha sido determinar un conjunto de rutas de costo mínimo para atender la demanda de grupos de clientes geográficamente dispersos con una flota de vehículos cuyas características y desempeño han sido homogéneas.

La asignación de las rutas se ha establecido buscando que cada una de las rutas cubriera distintas “paradas” para así surtir la carga de manera eficiente, decisión denominada Problema de ruteo vehicular. Durante el desarrollo a la solución de la toma de decisiones en el problema del ruteo vehicular (RVP según sus siglas en inglés) diversos autores han aplicado métodos distintos en la asignación de las “paradas” a las rutas los cuales se han caracterizado por la búsqueda de la disminución de millas en su trayecto a través del establecimiento de rutas con el mayor ahorro en la distancia total recorridas sobre todas ellas ya sea asignando “paradas” a realizar y adicionándoles de uno en uno, asignación a grupos de “paradas”, o “barriendo” un perímetro y sirviendo a las “paradas” ubicadas de manera cercana.

De esta forma, el problema del ruteo vehicular se ha enfocado a la cobertura de “paradas” en cada ruta asignándose unidades bajo restricción de capacidad y el costo en que incurren las unidades son fijos y estableciéndose el mismo en todas las unidades de la flota. Otro aspecto importante es el volumen o peso de la carga la cual es asignada de manera empírica colocándose en la unidad que pueda cargar el peso completo de forma que, si la unidad posee ya cierto peso y el adicionar un peso superior a la capacidad de la unidad, este será asignado a otra unidad que pueda cargar el peso; en este último caso, el mayor costo es asignado a la unidad que realice menos paradas.

En el presente trabajo se representa un sistema de transporte bajo el enfoque de una toma de decisiones multicriterio. Por cada toma de decisiones -asignación de viajes, la compra de llantas, adquisición de nuevas unidades y la selección de los operadores- se diseña un modelo reusable que comprende la delineación de un diagrama de influencia y un metamodelo por cada decisión del sistema.

Otro aspecto importante es el desarrollo del problema del ruteo vehicular asignando una sola ruta a una carga la cual será transportada entre dos puntos geográficos distintos cuya característica diferenciadora es el ingreso óptimo que puede obtenerse por la oferta del servicio de transportación de carga al cual le serán asignados, primeramente, la unidad de arrastre, semirremolque o remolque, de acuerdo al peso de la carga y las políticas de la empresa

transportista, y la unidad tractora relacionada con los ahorros que realiza por la eficiencia en el costo por el mantenimiento y su eficiencia en el consumo de combustible.

El problema del ruteo vehicular se analiza y ejemplifica en una pequeña empresa cuya característica es la de poseer una cantidad limitada de recursos con capacidad, características y desempeño no homogéneas para ofertar el servicio de transportación de carga por lo cual, ante solicitudes que excedan a su capacidad, toma una primera decisión consistente en la elección del viaje; también, se representan las problemáticas de las pequeñas empresas transportistas reconociendo los parámetros determinísticos e inciertos para lograr modelar una toma de decisiones concernientes a la adquisición de llantas para las unidades transportadoras que lo requieran, las adquisiciones de unidades con la finalidad de ampliar la flotilla para dar un mayor servicio y la selección de operadores de tractocamión quienes guíen las unidades en la realización del servicio de manera segura y confiable, para así poder dar un mejor y mayor servicio redituable para la empresa transportista.

Las cuatro modelaciones de las principales decisiones son optimizadas a través de las técnicas de Algoritmo genético como es el caso de la Elección del viaje y la Adquisición de unidades o simuladas con simulación de Monte Carlo las cuales se realizan en la Adquisición de llantas y la Contratación de operadores.

El modelo matemático optimizador de la elección del viaje comprende la asignación de las unidades de arrastre y tractoras productoras del mejor ingreso y utilidad para la empresa; en este modelo el sistema representado pone atención a tres aspectos importantes los cuales conciernen a la toma de decisión de dar el servicio de carga de autotransportación a los clientes que proporcionen la mejor utilidad a la empresa con recursos limitados mismos que son elegir al viaje con mejor ingreso, la unidad de arrastre que mejor se ajuste a la necesidad de la carga y la asignación de la unidad motora.

La elección del viaje se basa sobre la combinación óptima de ingresos por los viajes de carga solicitados simultáneamente a la empresa a los cuales les serán asignadas unidades de arrastre, remolque o semirremolque, tomando en cuenta el volumen o peso de la carga probable a movilizar así como las políticas establecidas por la empresa para su asignación lo cual permite tanto obtener el mejor ingreso como aprovechar la capacidad de las unidades de arrastre que mejor se ajusten a las cargas.

Los viajes de óptimos ingresos y sus unidades de arrastre establecidos anteriormente, son la base para asignar las unidades tractoras o camiones cuyos costos considerados son generales para todas las unidades con el fin de mantener los tractocamiones en buen estado, gastos inciertos originados por la nómina del operador concerniente a viáticos y salario diario durante el tiempo del desplazamiento de la carga, erogaciones que se realizan para mantener la flota de vehículos en buen estado considerando la incertidumbre del cambio en este costo como por ejemplo el mantenimiento a la transmisión, la adquisición de llantas, la afinación del motor, etc.

Además de dichos gastos generales, se analizan los propios de la unidad al consumo de combustible o eficiencia en dicho consumo de cada una de los tractocamiones para así asignarlos de manera que, al minimizarse el costo, se maximiza la utilidad.

El segundo modelo matemático optimizador se refiere a la adquisición de unidades tanto de arrastre como tractora cuya finalidad es incrementar la flotilla para dar una mayor cantidad de servicios y cuyo VPN por la adquisición sea el óptimo. Esta modelación considera la adquisición de tres tipos de unidades como son el tractocamión, el semirremolque y el remolque, de los cuales se establece la adquisición de las unidades que maximicen la utilidad del proyecto a valor presente neto.

La utilidad del proyecto comprende al valor presente neto y los gastos en que puede incurrirse por la demora en la entrega en la unidad así como las reparaciones en que pueda incurrirse.

Para obtener el VPN del proyecto, se recurre a la programación no lineal con la cual se calcula, primeramente el valor futuro de los pagos mensuales de cada una de las unidades y, finalmente, se le suma el enganche y se obtiene el VPN. En el caso de la demora y las fallas, se considera al riesgo en las que pueden incurrir las unidades, de manera que se consideran distribuciones probabilísticas así como importes monetarios de penalización al suceso correspondiente.

En la obtención de los resultados finales de los modelos matemáticos optimizadores se aplican algoritmos genéticos en la solución de las problemáticas para la toma de decisiones en la asignación de viajes y la adquisición de unidades, con lo cual se precisa la toma de decisiones pues minimizan el riesgo generado por la incertidumbre de los factores que afectan a través de una búsqueda global y no local y así optimizar las utilidades concernientes a la prestación del servicio de autotransporte de carga federal y las utilidades a valor presente neto en el caso de la adquisición de nuevas unidades, permite obtener resultados eficaces y rentables, siendo la demanda cercana a la realidad.

La simulación Monte Carlo aplicada a la empresa transportista al tomar decisiones para comprar llantas y contratar operadores en un ambiente dinámico, donde se desarrolla y busca permanecer y crecer, permite describir o predecir la forma de operar dadas algunas opciones para las variables y generar de forma pseudoaleatoria los valores probabilísticos permitiendo modelar una problemática donde las variables de decisión toman diferentes niveles, cualitativos y/o cuantitativos.

La Simulación en la solución del problema de decisiones es de gran rapidez, simplicidad y flexibilidad al admitir modificar variables y/o parámetros estandarizados y ponderados, de acuerdo a las necesidades de la empresa y así realizar un proceso de selección más objetivo además de establecer varios escenarios razonables a los cuales se les asignan probabilidades que ayudan en el cálculo de un resultado esperado.

En la simulación de adquisición de las llantas se consideraron cuatro importantes factores a analizar como son el costo total de las llantas a adquirir, el desempeño de los neumáticos en lo que se refiere a duración o vida útil, el costo de oportunidad en que se incurre por los días ociosos

de las unidades a las cuales se les adquiere y cambia las llantas y el costo de los servicios por el cambio de las llantas –válvulas, alineación y balanceo. Los diversos escenarios se determinaron con el apoyo de distribuciones de probabilidad y corresponden a cada uno de los tipos y marcas de llantas que pueden ser adquiridas en la zona de influencia de la empresa; los resultados obtenidos permiten basar las decisiones sobre la calidad de los proveedores tomando como base su comportamiento histórico así como su actual oferta.

La Simulación en la selección de operadores son considerados diez factores cualitativos los cuales se cuantifican, se estandarizan y ponderan, según las necesidades de la empresa y, así, se realiza un proceso de selección con mayor objetividad y flexibilidad evitando los prejuicios de los encargados del área de Recursos Humanos. Al final de la simulación se obtienen varias alternativas concernientes a los candidatos las cuales combinan las habilidades/atributos deseados.

Los métodos aplicados para sustentar una decisión de múltiple criterio se observan resultados muy acertados dándole mucha credibilidad a los modelos y la estructuración con la cual se manejaron los datos.

Los modelos y los métodos aplicados así como sus resultados permiten aseverar acerca de su utilización en compañías transportistas similares al caso aquí analizado así como a los grupos de empresas transportistas catalogados como hombre camión y pequeños transportistas los cuales poseen entre 1 y 30 unidades cantidad de empresas que al 2008 ascendían a 94,698 empresas (97.8% del total de empresas transportistas).

Investigaciones futuras

Las empresas transportistas, como parte integrante de la cadena de suministro y de valor, requieren de una gran coordinación interna con la visión del beneficio de la empresa.

Las actividades de esta para el suministro del servicio de autotransporte de carga oportuno y responsable dependen principalmente de las unidades y operadores de la empresa.

La investigación realizada a las actividades del autotransporte presenta problemáticas, en términos generales, en las áreas de los recursos humanos, oferta demanda, antigüedad de las unidades y asignación de unidades.

De acuerdo a lo anterior, es recomendable profundizar en el análisis de la contratación de los operadores así como la asignación de operadores a las unidades para la realización de un servicio con el mínimo de riesgo.

Una segunda recomendación se hace sobre el sistema de información de la empresa el cual se basa sobre la observación y experiencia de los encargados de la actividad siendo necesario analizar sobre el diseño e implementación de un sistema de información el cual aproveche la información existente y aquella que pueda ser recopilada con fines de dar un mejor aprovechamiento a los recursos de la empresa en la consecución de los objetivos.



REFERENCIAS

Referencias

- Altinel K. & Öncan, T. (2005). *A new enhancement of the Clarke and Wright savings heuristic for the capacitated vehicle routing problem*. Journal of the Operational Research Society, 56(8).
- Altinkemer, Kemal; Gavish, Bezalel (1991) *Parallel Savings Based Heuristics for the Delivery Problem*. Operations Research; May/Jun 1991; 39, 3.
- Anderson, David R., Sweeney, Dennis J., Williams, Thomas A. (2003). *An Introduction to Management Science. Quantitative Approach to Decision Making*. U. S. A.: Thomson Southwestern.
- Ballou, Ronald H., Agarwal, Yogesh K. (1988). *A Performance Comparison Of Several Popular Algorithms For Vehicle Routing and Scheduling*. Journal of Business Logistics. Oak Brook: 1988. Vol. 9, Iss. 1
- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. México: Pearson/Prentice Hall
- Battara M, Golden B. & Vigo D. (2008). *Tuning a parametric Clarke-Wright heuristic via a genetic algorithm*. Journal of the Operational Research Society, 59(11)
- Berger, J., Barkaoui, M.(2003). *A hybrid genetic algorithm for the capacitated vehicle routing problem*. Proc. Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO'03), Chicago, Illinois, USA.
- Bowersox, D. J., Closs. D. J., Cooper, M. B.(2007) *Administración y logística en la cadena de suministro*. México: McGraw Hill.
- Brainard, William (1967). *Uncertainty and the effectiveness of policy.*” American Economic Review, vol. 57, no. 2. May.
- Brigham, Eugene F., Houston, Joel F. (2001). *Fundamentos de administración financiera*. México: Compañía Editorial Continental.
- Cámara Nacional del Autotransporte de Carga, (2010), *Agenda Económica del Autotransporte*. CANACAR, México, marzo. 2010, no. 14.
- Clemen, Robert T. *Making hard decisions : an introduction to decision analysis*. California: Duxbury Press.
- Cordeau, J-F, Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J-Y & Semet, F. (2002) *A Guide to Vehicle Routing Heuristics*, The Journal of the Operational Research Society Vol. 53, No. 5
- Council of Supply Chain Management Professionals, (2010), *Glossary of Terms and Definitions* obtenido el 8 de marzo del 2011 desde: <http://cscmp.org/digital/glossary/glossary.asp>
- Coss Bu, Raúl. (2002). *Simulación. Un enfoque práctico*. México: editorial Limusa.

Chopra, S. y Meindl, P. (2008) *Administración de la Cadena de Suministro. Estrategia, Planeación y Operación*. México: Pearson/Prentice Hall.

Crispim, J., Brandão, J. (2005) *Metaheuristics applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems with backhauls*. The Journal of the Operational Research Society. Houndmills: Nov 2005. Vol. 56, Iss. 11

Dantzig, G. B, Ramser, J. H. (1959) *The Truck Dispatching Problem*. Management Science. Linthicum: Oct 1959. Vol. 6, Iss. 1

Davis, K. Roscoe, McKeown, Patrick G. (1986). *Modelos cuantitativos para administración*. México: Grupo Editorial Iberoamérica.

Dell'Amico, Mauro, Monaci, Michele, Pagani, Corrado, Vigo, Daniele (2007). *Heuristic Approaches for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows*. Transportation Science. Baltimore: Nov 2007. Vol. 41, Iss. 4.

Desaulniers, Guy, Lessard, François, Hadjar, Ahmed (2008). *Tabu Search, Partial Elementarity, and Generalized k-Path Inequalities for the Vehicle Routing Problem with Time Windows*. Transportation Science. Baltimore: Aug 2008. Vol. 42, Iss. 3.

Dullaert, W., Janssens, G. K., Sorensen, K., Vernimmen, B. (2002). *New heuristics for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows*. The Journal of the Operational Research Society. Houndmills: Nov 2002. Vol. 53, Iss. 11

Eppen, G. D; Gould, F. S.; Schmidt, C. P.; Moore, J. H. & Weatherford, L. R. (2000) *Investigación de Operaciones en la Ciencia administrativa*. México: Pearson Educación.

Fisher, M. (1995). *Vehicle routing*. M. O. Ball, T. L. Magnanti, C. L. Monma, G. L. Nemhauser, eds. Network Routing. Handbooks in Operations Research and Management Science, Vol. 8. Elsevier, Amsterdam, 1–33.

Gaither, N. y Frazier, G. (2000) *Administración de Producción y Operaciones*. México: International Thomson Editores.

Ganeshan, R., y Harrison, T. P. (1995) at Penn State University in their article *An Introduction to Supply Chain Management* obtenido el 4 de abril del 2010 desde: http://silmaril.smeal.psu.edu/supply_chain_intro.html

Gendreau, M., Hertz, A. and Laporte, G. (1994). *A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem*. Management Science, Vol 40.

Ghaziri, Hassan, Osman, Ibrahim H. (2006) *Self-organizing feature maps for the vehicle routing problem with backhauls*. Journal of Scheduling. Chichester: Apr 2006. Vol. 9, Iss.

Gavish, B. and Schweitzer, P. (1974). *An Algorithm for Combining Truck Trips*. Transportation Science, Feb74, Vol. 8 Issue 1.

- Gitman, Lawrence J. (2000). *Principios de administración financiera*. México: Addison Wesley Longman
- Ghiani, G, Laporte, G., Musmanno, R. (2003). *Introduction to Logistics Systems. Planning and Control*. England: John Wiley & Sons.
- Hillier, Frederick S., Lieberman, Gerald J. (2001) *Investigación de Operaciones*. México: Mc Graw Hill.
- Hines, William W., Montgomery, Douglas C., Goldsman, David M. y Borrór, ConnieM. (2005) *Probabilidad y estadística para ingeniería*. México: CECSA
- Horngren, Charles T., Harrison, Walter T. Jr. (1991). *Contabilidad*. México: Prentice Hall Hispanoamericana
- Howard, Ronald A. (1988). *Knowledge Maps*. Management Science, vol. 35, no. 8
- Howard, Ronald A.; Matheson, James E (2005). *Influence Diagram Retrospective*. Decision Analysis, Vol. 2 no. 3
- Howard, Ronald A.; Matheson, James E.; Miley W (Lee) Merkhofer; Miller, Allen C; D Warner North (2006). *Comment on Influence Diagram Retrospective*. Decision Analysis, Vol. no. 3, no. 2
- Hu, Xiao-Bing and Di Paolo, Ezequiel. *A Comprehensive fuzz-rule-based self-adaptive genetic algorithm*. Intelligent Computing and Cybernetics. Vol. 1 no. 1, 2008.
- INEGI (1999), *Transporte Privado Empresarial*, obtenido en http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/economicos/1999/transporte/tpen.pdf
- Instituto Mexicano del Transporte (2008). *Manual Estadístico del Sector Transporte* obtenido en http://www.imt.mx/SitioIMT/Publicaciones/frmPublicacion.aspx?Pagina=235&Ruta=Publicaciones/Manuales&LoHyperlink=2&ID_CON_Menu=181#
- Johnson, Ellis L., Nemhauser, George L. (1992) *Recent developments and future directions in mathematical programming*. IBM Systems Journal. Armonk: 1992. Vol. 31, Iss. 1
- Kenyon, Astrid S., Morton, David P. (2003) *Stochastic vehicle routing with random travel times*. Transportation Science. Baltimore: Feb 2003. Vol. 37, Iss. 1;
- Küttner, R. (2009). Production planning for a supply chain in a low-volume and make-to-order manufacturing environment. *Journal of Engineering*, 2009, Vol. 15 Issue 1
- Lambert, D. M., Stock, J. R., Ellram, L. M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. Boston: Irwin McGraw Hill.
- Lafarja Solábac, Marina V., Aguilar Lasserre, Alberto A., Moras Sánchez, Constantino, y Morales Mendoza, Fernando. (2007). *A Methodology to Support Multicriteria Decision Making Issues in a Transportation Company*. Proceedings of the 12th Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice. Cancún, México.

- Lambert, Douglas M., James R. Stock and Lisa M. Ellram (1998), *Fundamentals of Logistics Management*. Boston, MA: Irwin/McGraw-Hill
- Ley Borrás, Roberto (2001), *Análisis de Incertidumbre y Riesgo para la Toma de Decisiones*, Comunidad Morelos, México.
- Liu, F-H, Shen, S-Y (1999). *The fleet size and mix vehicle routing problem with time windows*. The Journal of the Operational Research Society. Houndmills: Jul 1999. Vol. 50, Iss. 7
- Loomba, N. Paul. (1978) *Management, a Quantitative Perspective*. U. S. A.: MacMillan International
- Montiel R., Aarón, Aguilar L., Alberto A. (2008). *Evaluación de riesgo en el transporte terrestre de mercancías*. Coloquio Nacional 2008 de Investigación Multidisciplinaria. México: Instituto Tecnológico de Orizaba
- Nahmias, S. (2005). *Production and Operations Analysis*. New York: McGraw-Hill/Irwin.
- Ortega, Pablo, Oliva, Cristian, Ferland, Jacques, Cepeda, Manuel (2009). *Multiple Ant Colony System for a VRP with Time Windows and Scheduled*. Ingeniare: Revista Chilena de Ingeniería; Sep-Dec 2009; 17, 3.
- Osman, I.H. (1993). *Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for the Vehicle Routing Problem*. Annals of Operations Research, Vol 41, pp. 1993.
- Powell, Warren B. (1996). *A Stochastic Formulation of the Dynamic Assignment Problem, with an Application to Truckload Motor Carriers*. Transportation Science, Aug 96, Vol. 30 Issue 3.
- Prawda, Juan (2004). *Métodos y modelos de Investigación de Operaciones*. México: Limusa Noriega Editores.
- Psaraftis, N (1995). *Dynamic vehicle routing: Status and prospects*. Ann. Oper. Res. 61
- Quiroz, Francisco, Ley, Roberto (2002). *Modelo reusable para decidir sobre estrategias de comercialización de materiales de procesamiento*. Investigación Administrativa, año 31 no. 91
- Rand, Graham K. (2009) *The life and times of the Savings Method for Vehicle Routing Problems*. ORiON. Johannesburg: 2009. Vol. 25, Iss. 2.
- Ríos Insua, David y Ríos Insua, Jacinto (2000). *Simulación. Métodos y aplicaciones*. México: Alfa Omega Ra-ma
- Rodríguez C., Zoe (2000) *Teoría de la decisión multicriterio: un enfoque para la toma de decisiones*. Economía y Desarrollo no. 1, Vol. 126. La Habana, Cuba.
- SCT/IMT (2008), *Anuario estadístico de accidentes en carreteras federales*, documento técnico no. 41, Sanfandila, Qro.
- Shanon, Robert E. (1999). *Simulación de sistemas. Diseño, desarrollo e implantación*. México: editorial Trillas.

Sungur, Ilgaz; Ordóñez, Fernando; Dessouky, Maged (2008). *A robust optimization approach for the capacitated vehicle routing problem with demand uncertainty*. IIE Transactions, May2008, Vol. 40 Issue 5.

Taha, Hamdy A. (2004). *Investigación de Operaciones*. México: Pearson Educación

WJ Tang, QH Wu (2009). *Biologically inspired optimization: a review*. Transactions of the Institute of Measurement and Control. London: Dec 2009. Vol. 31, Iss. 6;

Toth, P., D. Vigo. 2002. *The Vehicle Routing Problem*. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, Philadelphia.

Wassan, N. (2007) *Reactive tabu adaptive memory programming search for the vehicle routing problem with backhauls*. The Journal of the Operational Research Society. Houndmills: Dec 2007. Vol. 58, Iss. 12.

Wassan, Niaz A., Nagy, Gábor, Ahmadi, Samad (2008). *A heuristic method for the vehicle routing problem with mixed deliveries and pickups*. Journal of Scheduling. Chichester: Apr 2008. Vol. 11, Iss. 2



ANEXOS

ANEXO A: Ejemplo de aplicación de asignación de unidades de arrastre

En este anexo, se presenta un segundo ejemplo de aplicación de las políticas de asignación de las unidades de arrastre los cuales reflejan modificaciones en el peso de la carga, cuota por tonelada así como la disponibilidad de los recursos de los semirremolques y remolques.

Para este ejemplo la aplicación de las políticas de asignación de las unidades de arrastre permite determinar la solución inicial de asignación de remolques y semirremolques. En el cuadro no. A1, se representa la primera generación o solución básica factible inicial de asignación de las unidades de arrastre. Para la asignación se plantean dos opciones. En la primera opción, se asigna el semirremolque a los viajes cuyo peso de la carga sea menor a 30 toneladas, como es el caso de los viajes de transportación de carga nos. 1, 3 y 4, y dos semirremolques a los viajes con carga entre 31 y 60 toneladas como sucede con los viajes nos. 2, 5 y 6.

La asignación de remolques, segunda opción, el peso de la carga no debe exceder las 50 toneladas por lo que puede ser asignado a los viajes nos. 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

	VIAJE						REQUERIDO	DISPONIBLE
	1	2	3	4	5	6		
CUOTA POR TONELADA	1250	800	900	1550	1750	1600		
PESO CARGA	17	48	30	25	50	45		
INGRESOS VIAJE	21250	38400	27000	38750	87500	72000		
OPCIÓN 1								
SEMIREMOLQUE	1	2	1	1	2	2	9	4
OPCIÓN 2								
REMOLQUE	1	1	1	1	1	1	5	2
TRACTOCAMIÓN	1	1	1	1	1	1	6	4

Cuadro no. A1: Primera generación o solución básica factible inicial

Para este ejemplo, el modelo matemático se presenta de la siguiente forma:

$$\text{Maximizar } I = \sum_{j=1}^6 Cu_j p_j T_j \quad (23)$$

Sujeta a las restricciones:

- Disponibilidad de semirremolques:

$$\sum_{j=1}^6 T_j S_j \leq 4 \quad (24)$$

- Disponibilidad de remolques:

$$\sum_{j=1}^6 T_j R_j \leq 2 \quad (25)$$

- Disponibilidad de tractocamión:

$$\sum_{j=1}^6 T_j \leq 6 \quad (26)$$

- Semirremolques requeridos en el viaje j (máximo 2):

$$S_j \leq 2 \quad (27)$$

- Remolques requeridos para el viaje j :

$$R_1 \leq 1 \quad (28)$$

$$R_2 \leq 1 \quad (29)$$

$$R_3 \leq 1 \quad (30)$$

$$R_4 \leq 1 \quad (31)$$

$$R_5 \leq 1 \quad (32)$$

$$R_6 \leq 1 \quad (33)$$

- Tractocamiones requeridos para el viaje j:

$$T_j \leq 1 \quad (34)$$

- No envío semirremolque y remolque:

$$\sum_{j=1}^6 S_j R_j = 0 \quad (35)$$

- Lógica:

$$\text{Todas las variables } V_n, S_n, R_n, T_n \text{ son enteras} \quad (36).$$

Resultado de la optimización con Algoritmo Genético para maximizar el ingreso, se establecieron la función objetivo y las restricciones del modelo matemático para asignar las unidades de arrastre a los viajes generadores de ingresos óptimos. Así, se observa la conveniencia de asignar al viaje no. 2 con dos semirremolques, al viaje no. 4 con un remolque, al viaje no. 5 con un semirremolque y al viaje no. 6 con un semirremolque, que reditúan un ingreso total de \$227,900.00, sujetas a las restricciones instruidas (cuadro no. A2).

	1	2	3	4	5	6	OPTIMO
INGRESOS	21250	38400	27000	38750	78750	72000	227,900
SEMIREMOLQUE	0	2	0	0	1	1	
REMOLQUE	0	0	0	1	0	0	
TRACTOCAMIÓN	0	1	0	1	1	1	

Cuadro no. A2: Resultado de la optimización

Este es un ejemplo de cómo la empresa debe ajustar su modelo matemático de acuerdo a las necesidades: peso de carga, cuota y recursos disponibles.

ANEXO B: Ejemplo de aplicación de asignación de unidades de tracción

En este anexo, se presenta un segundo ejemplo de aplicación de asignación de las unidades tractoras ante los cambios realizados en el modelo matemático de asignación de las unidades de arrastre.

Para este ejemplo los viajes optimizadores del ingreso son los viajes nos. 2, 4, 5 y 6 a los cuales les será asignada la unidad tractora.

Para determinar la utilidad, se consideran cambios en el kilometraje del viaje redondo, el peso de la carga en toneladas y la cuota de la carga por tonelada, el tiempo de duración del recorrido en días y el riesgo de accidente (cuadro no. B1). Se incluye la asignación de las unidades de arrastre resultantes de la asignación de la unidad de arrastre, como referencia.

	VIAJE					
	1	2	3	4	5	6
Kilometraje viaje (redondo)	1524.5	924.36	2440.23	1331.64	743.36	1735.04
Peso de la carga (toneladas)	17	48	30	25	45	45
Cuota de la carga (\$/tonelada)	1250	800	900	1550	1750	1600
Días de recorrido	3	2	4	2	2	3
Riesgo de accidente	2	1	3	2	0	2
Semirremolque	0	2	0	0	1	1
Remolque	0	0	0	1	0	0
Tractocamión	0	1	0	1	1	1

Cuadro no. B1: Información de los viajes de carga

$$\text{Max. } U = \sum_{j=1}^6 p_j C u_j - (\sum_{j=1}^6 G F_j + G V_j + G A_j) - \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 G C_{ij}] * \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 X_{ij} \quad (60)$$

Para este ejemplo, el modelo matemático se presenta de la siguiente forma:

Sujeta a las restricciones:

- Restricción de asignación de tractocamión:

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq 1 \quad (61)$$

$$\sum_{i=2}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq 1 \quad (62)$$

$$\sum_{i=3}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq 1 \quad (63)$$

$$\sum_{i=4}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq 1 \quad (64)$$

$$\sum_{i=5}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq 1 \quad (65)$$

$$\sum_{i=6}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} \leq 1 \quad (66)$$

- Restricción de asignación de viaje:

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 x_{ij} = 0 \quad (67)$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=2}^6 x_{ij} = 1 \quad (68)$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=3} x_{ij} = 0 \quad (69)$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=4} x_{ij} = 1 \quad (70)$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=5} x_{ij} = 1 \quad (71)$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=6} x_{ij} = 1 \quad (72)$$

- Restricción del total de viajes elegidos:

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 x_{ij} = 4 \quad (73)$$

- Restricción lógica:

$$\text{Todas las variables } X_{ij} \text{ son enteras} \quad (74)$$

Resultado de la optimización con Algoritmo Genético se establece el viaje y el tractocamión que generan las mejores utilidades. Así, se observa la conveniencia de asignar el tractocamión no. 2 al viaje no. 2, el tractocamión no. 3 al viaje no. 4, el tractocamión no. 5 al viaje no. 5 y el tractocamión no. 6 al viaje no. 6, lo cual reditúa un ingreso total de \$181,242.40 (cuadro no. B2)

	VIAJE						OPTIMO
	1	2	3	4	5	6	
UTILIDAD	0	28,807.76	0	26,524.37	70,417.99	55,492.28	181,242.40
TRACTOCAMIÓN	0	2	0	3	5	6	

Cuadro no. B2: Tabulación de la asignación de tractocamiones

En resumen, de los resultados obtenidos de los modelos matemáticos presentados anteriormente, la solución óptima al problema es: asignar al viaje no. 2 dos semirremolques y el tractocamión no. 2, al viaje no. 4 un remolque y el camión no. 3, al viaje no. 5 un semirremolques y el automotor no. 5 y al viaje no. 6 un semirremolque y la unidad tractora no. 6, asignación que reditúa una utilidad de \$181,242.40 (cuadro no. B3).

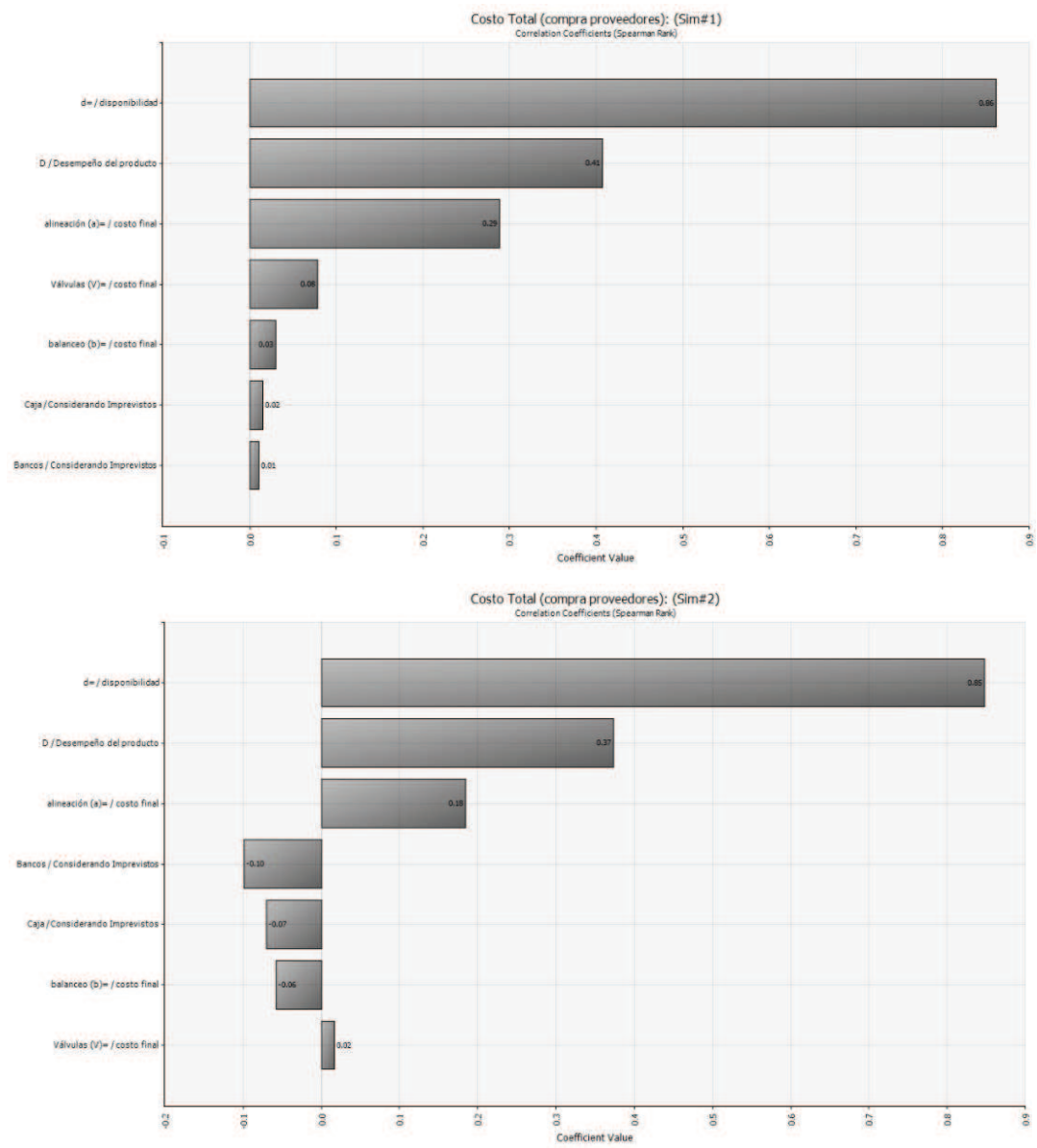
	VIAJE						UTILIDAD OPTIMA
	1	2	3	4	5	6	
INGRESOS	21250	38400	27000	38750	78750	72000	181,242.40
SEMIRREMOLQUE	0	2	0	0	1	1	
REMOLQUE	0	0	0	1	0	0	
UTILIDAD	0	14690.47	26140.51	28784.10	0	38873.22	
TRACTOCAMIÓN	0	2	0	3	5	6	

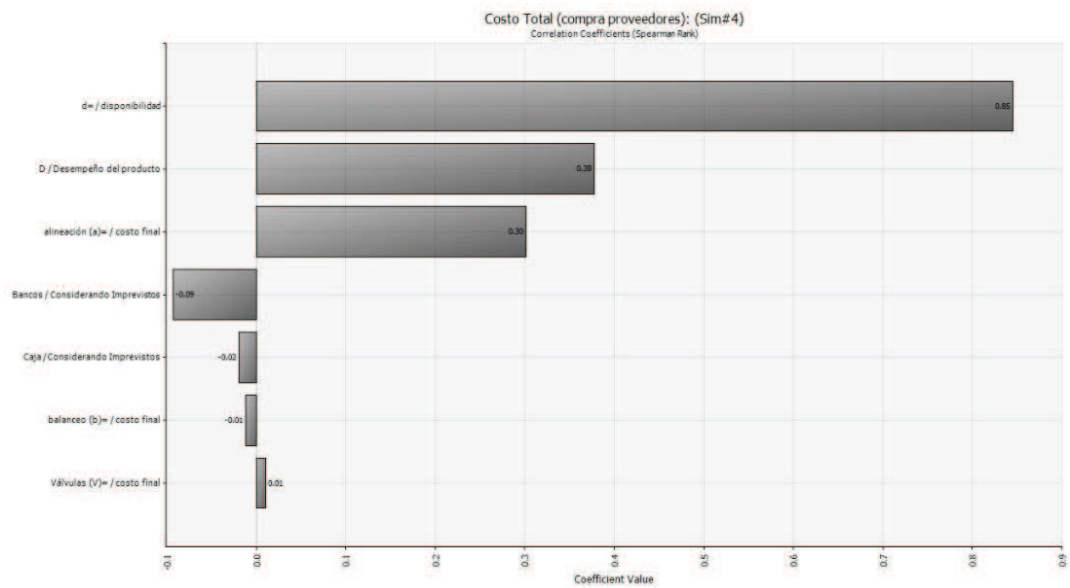
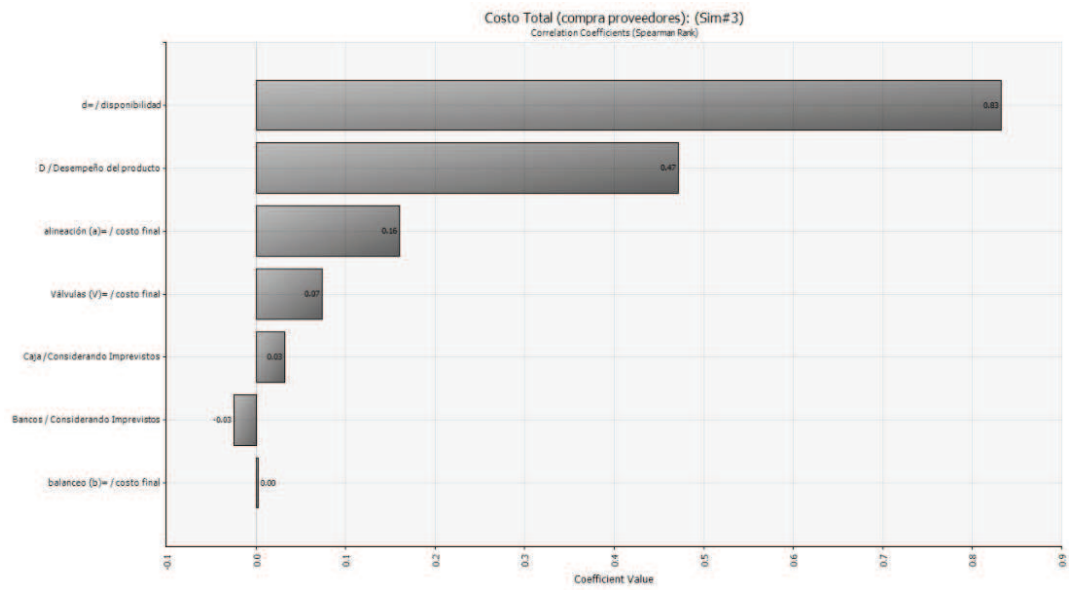
Cuadro no. B3: Tabulación de las utilidades por la realización del servicio de transportación de carga

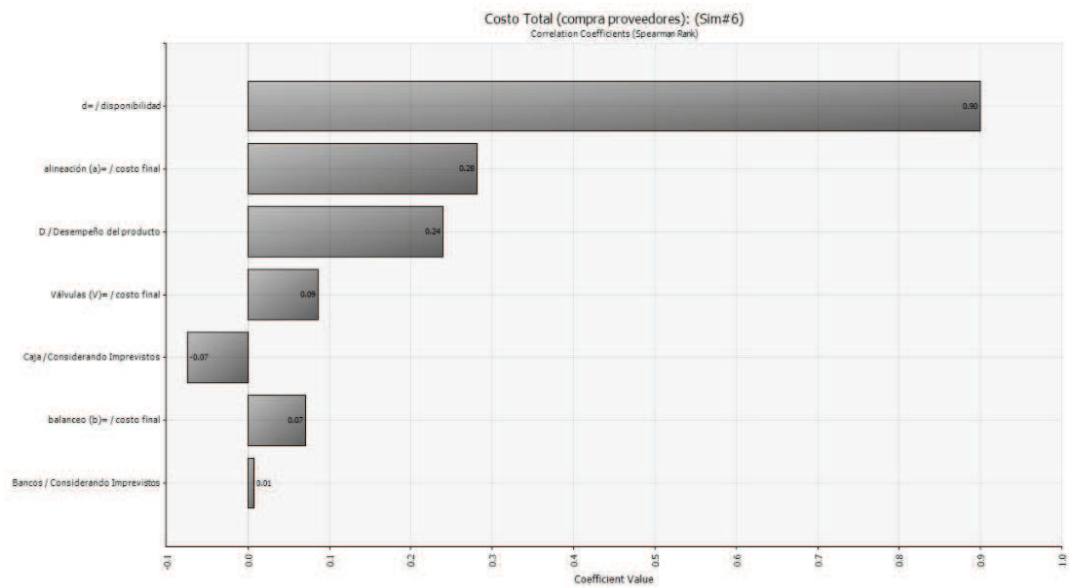
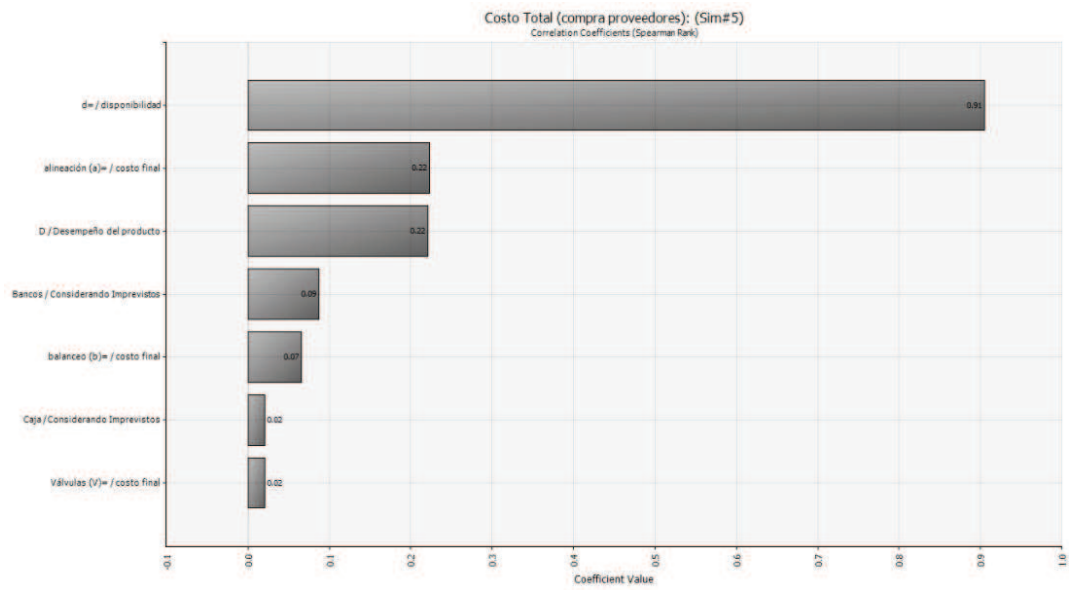
Este modelo matemático determina en el ejemplo la asignación de las unidades tractoras o camiones a los viajes de transportación definidos en el modelo matemático anterior siendo el objetivo maximizar la utilidad. Tal modelo puede ser aplicado en las empresas transportistas cuyas características sean similares a la ejemplificada pues el modelo permite ajustar la

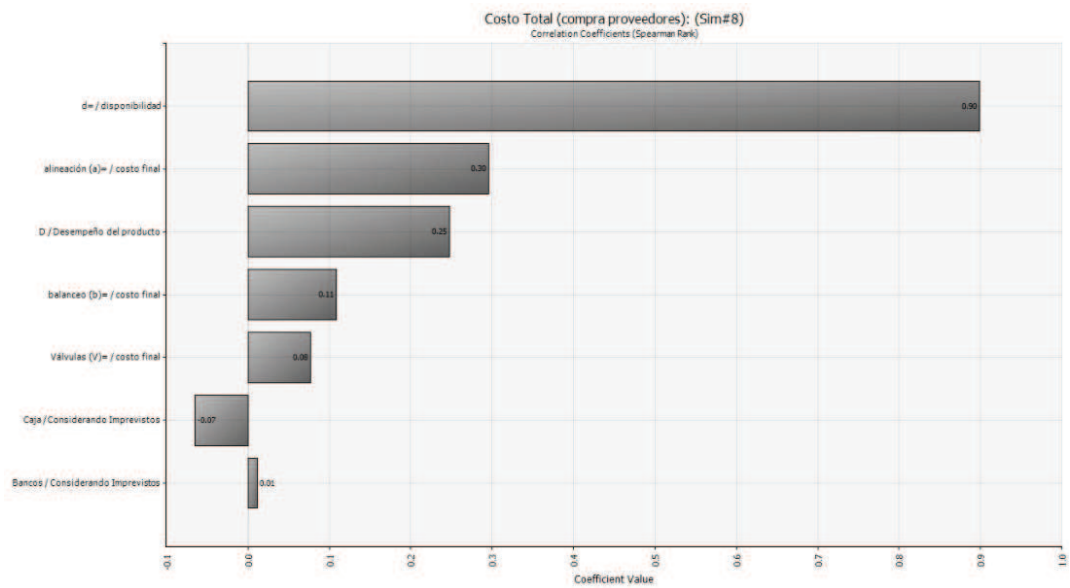
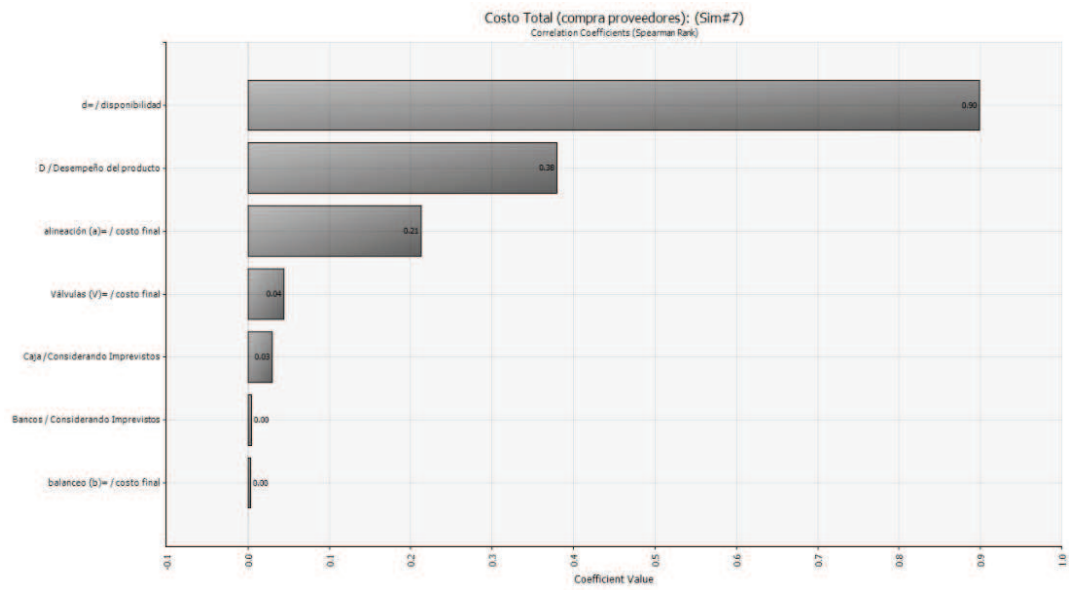
asignación de los tractocamiones a la demanda de los viajes de transportación de carga definidos en un modelo anterior.

ANEXO C: Gráficos del coeficiente de correlación de las simulaciones.









ANEXO D: GRÁFICOS DEL COEFICIENTE DE REGRESION DE LAS SIMULACIONES.

