

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DPTO. ING. INDUSTRIAL**

**Profesor Guía:  
Sr.Reinaldo Moraga Suazo**



## **UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**“PROPOSICIÓN DE UNA REGLA DE DESPACHO COMPUESTA PARA LA  
ASIGNACIÓN DE CAMIONES USANDO BÚSQUEDA ESTOCÁSTICA CON  
SIMULATED ANNEALING”**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero Civil Industrial, Mención Gestión.

**CONCEPCIÓN, Enero de 2005**

**ENRIQUE ALONSO CORREA TAPIA**

## Agradecimientos

Al finalizar esta etapa de mi vida, no puedo dejar de agradecer el esfuerzo, amor y dedicación de mi madre; María Rosa y mis hermanos Roxana y Nicolás que son un puntal muy importante en mi vida.

Y como no agradecer a los que con su amor me mantuvieron en la senda, el recuerdo para mi abuelo que desde el cielo fue mi amigo, a mi familia que siempre está, a mis buenos amigos y en especial a Luciano, por animarme en cada momento a seguir adelante y no descansar, y por su puesto la mano y guía espiritual de DIOS que me dio la fortaleza para alcanzar la meta.

Sir. Isaac Newton decía que si logramos algo valioso, es porque estamos sobre los hombros de los gigantes que nos han precedido. Reconozco la deuda que tengo con los brillantes investigadores cuyos trabajos han modelado mis ideas.

Mi más profundo agradecimiento y admiración a mi profesor guía Don Reinaldo Moraga S., por su conocimiento y sabiduría, por la tolerancia y fraternidad, por la comprensión y paciencia, y por esa confianza incondicional depositada en mí a lo largo de todo este tiempo.

## Resumen

Este trabajo presenta la elaboración y validación de una regla de despacho compuesta para el despacho de camiones en una empresa embarcadora de la Octava Región del Bío-Bío. Esta regla de despacho compuesta permite asignar camiones a los diversos servicios que son generados durante un día normal de operación. La idea es proveer una secuencia que minimice la sobrecontratación de camiones externos a la empresa.

Para la resolución de este problema se revisó literatura que apuntara al desarrollo de modelos de simulación de eventos discretos, reglas compuestas despacho y métodos de optimización en simulación. Este estudio pretende entregar una metodología de despacho que permita, asignar los “m” camiones existentes en la planta a las “n” órdenes de servicio generadas y confirmadas durante un día de operación. Es importante destacar que las órdenes de servicio son despachadas de acuerdo a ciertas restricciones, fecha de entrega y prioridad de servicio.

En este punto es necesario destacar que el ambiente en el cual se desempeña la empresa es dinámico (on-line), es decir, van arribando y confirmandose nuevas órdenes de servicios, a ser cumplidas durante el día de operación.

Dada las características del entorno en que opera la empresa, se realizó un modelamiento de la situación problema mediante el software Arena 4.0, siendo la simulación de eventos discretos una herramienta poderosa para la resolución de este problema y para la posterior validación de la regla de despacho propuesta.

El diseño de esta regla de despacho compuesta debe considerar la naturaleza del entorno en que opera la empresa; es por tal motivo que ésta está conformada por variables dinámicas como la carga de trabajo del conductor, el conocimiento que éste tenga de la ruta y las características mecánicas del camión.

Una vez definido el diseño de la regla se deben utilizar métodos de optimización en simulación. En este caso, se procedió a la optimización de los parámetros de la regla de despacho propuesta, mediante búsqueda estocástica con Simulated Annealing y se evaluó su desempeño a través del software de simulación Arena 4.0, por un período de 1 mes de operación.

En síntesis, la nueva metodología propuesta de despacho arroja resultados prometedores de acuerdo a los objetivos planteados en esta memoria.

## **CAPITULO I : Introducción**

1.1	Introducción .....	08
1.2	Justificación.....	09
1.3	Objetivos.....	11
1.4	Alcances del estudio.....	12
1.5	Metodología de trabajo.....	14

## **CAPITULO II : Gestión de la Cadena de Suministro**

2.1	Introducción .....	17
2.2	Gestión de la cadena de suministros y logística.....	19
2.3	Definición de las actividades logísticas.....	23
2.3.1	Objetivos de servicio al cliente .....	23
2.3.2	Estrategia de ubicación de instalaciones .....	23
2.3.3	Decisiones de inventario .....	24
2.3.4	Estrategia de transporte.....	24

## **CAPITULO III : Antecedentes del caso en estudio**

3.1	Introducción .....	31
3.2	La empresa .....	32
3.3	Actores logísticos .....	34
3.4	Actores logísticos en el proceso de transporte .....	36
3.5	Consideraciones del sector .....	38
3.6	Problemática de transporte .....	39
3.6.1	Flota de transporte .....	39
3.6.2	Proceso de despacho de camiones .....	41
3.7	Descripción del problema.....	41
3.8	Definición del problema .....	42
3.9	Requerimiento de información .....	43
3.9.1	Características de la flota de transporte .....	44

3.9.2	Información sobre las demandas de servicio.....	47
3.9.3	Datos geográficos del cliente.....	48
3.10	Conclusión .....	50

#### **CAPITULO IV : Modelamiento de la situación problema**

4.1	Introducción .....	52
4.2	Antecedentes generales sobre la simulación.....	52
4.3	Definición de simulación .....	53
4.4	Construcción de un modelo de simulación.....	55
4.5	Evaluación de los resultados .....	60
4.6	Validación del modelo .....	60
4.6.1	Determinación del número de replicas.....	61
4.6.2	Comparación de los resultados del modelo con los datos reales del sistema .....	63

#### **CAPITULO V : Diseño de la regla compuesta de despacho**

5.1	Introducción .....	67
5.2	Consideraciones .....	67
5.3	Proceso actual de despacho .....	68
5.4	Diseño de la regla compuesta de despacho .....	69

#### **CAPITULO VI : Optimización en simulación**

6.1	Introducción .....	75
6.2	Definición y aplicaciones.....	75
6.3	Estrategias de optimización en simulación .....	77
6.4	Características del entorno .....	79
6.5	Simulated Annealing (SA) .....	80
6.5.1	Proceso de Simulated Annealing.....	80

6.5.2	Algoritmo SA .....	81
6.5.3	Definición de parámetros de SA.....	84
6.5.4	Procedimiento de búsqueda de parámetros .....	90
6.5.5	Análisis de resultados.....	91
6.5.6	Impacto económico del modelo.....	93

### **CAPITULO VII : Comentarios y recomendaciones**

7.0	Comentarios y recomendaciones .....	95
-----	-------------------------------------	----

### **CAPITULO VIII: Bibliografía y referencias**

8.0	Bibliografía y referencias .....	102
-----	----------------------------------	-----

### **ANEXOS**

Anexo A .....	107
Anexo B .....	112

## **CAPITULO I : Introducción**

### **1.1 Introducción**

Desde hace un tiempo se vienen observando innumerables cambios en la economía mundial, las empresas deben luchar por ser más competitivas, en un mercado cada día más globalizado, y enfrentar una mayor competencia para satisfacer las necesidades de clientes cada vez más exigentes.

Esta nuevas condiciones en los mercados mundiales han provocado un vuelco en las formas de competir, ya no son suficientes las estrategias de precios o de diferenciación, pues estas provocan un desgaste para las organizaciones y se está reconociendo la importancia de desarrollar un buen servicio al cliente y ofreciendo productos de calidad.

Ante esto, surge la necesidad de desarrollar mecanismos mediante los cuales se generen ahorros de costo y se incorpore valor a los productos o servicios, optimizando los recursos existentes en las organizaciones, sin que esto implique descuidar los actuales clientes.

De esta forma, cobra gran relevancia la rapidez, seguridad y puntualidad con que se lleven a cabo los servicios de transporte y distribución de productos desde los proveedores hasta los consumidores. Para esto es preciso contar con adecuados sistemas tanto tecnológicos como operativos, personal idóneo e infraestructura, que faciliten la Gestión de la Cadena de Suministros.

En este trabajo se encara la resolución de un problema de secuenciamiento en un entorno de servicio correspondiente a una empresa de transporte. Se busca determinar la secuencia óptima para el despacho de los camiones con la finalidad de minimizar los servicios de transportistas externos a la empresa en estudio mediante una metodología de despacho que permita despacha las “n” ordenes de servicio con los “m” camiones existentes en la empresa.

## **1.2 Justificación**

El transporte es esencial porque ninguna empresa moderna puede operar sin el movimiento de sus materia primas o de sus productos terminados, y en este caso en particular, el transporte es el último proceso que realiza la empresa en estudio y es la más importante, ya que es a través de este servicio que el cliente mide la calidad de todo el servicio que ofrece la empresa.

Dentro de la problemática del transporte, el procesamiento y despacho de servicios es clave e importante para la empresa ya que está directamente ligado al tiempo total que se requiere para que un cliente reciba los bienes o servicios demandados, es la actividad que desencadena el movimiento de los bienes. El problema de secuenciamiento de despacho ha recibido gran atención dada su importancia en aplicaciones industriales y consecuentemente surge la necesidad de contar con algoritmos y modelos eficientes que provean de soluciones de utilidad practica.

La aplicación de una nueva metodología de trabajo para el proceso de despacho de camiones se debe a un gran número de inconvenientes existentes para el desarrollo normal de esta tarea. Específicamente el problema surge cuando no existen camiones en planta para dar cumplimiento a los distintos requerimientos de los clientes. En esta situación la empresa se ve obligada a subcontratar los servicios de transporte a proveedores externos generándose un sobrecosto, el cual es asumido por la empresa. El despacho de los camiones se realiza a través de la regla FIFO, es decir se despacha el primer camión que se encuentre disponible en la cola.

Si bien es cierto que la regla FIFO es muy utilizada en las empresas dada su simplicidad y efectividad para cierto tipo de tareas y procesos, es importante recalcar que luego de conocer la problemática interna de la empresa partir del supuesto de que todos los camiones existente en la planta son iguales no es algo efectivo producto que existen ciertas variables y atributos que afectan a la flota de transporte.

Es por estas razones que en el proceso de despacho se desea optimizar el secuenciamiento de las “n” órdenes de servicio con los “m” camiones disponibles en planta. Este estudio pretende entregar una metodología de despacho que permita, asignar los “m” camiones existentes en la planta a las “n” órdenes de servicio generadas y confirmadas durante un día de operación.

Así, el adecuado uso de modelos de optimización estocástica y de simulación, aplicadas a las actividades de transporte y específicamente a las

tareas de despacho constituyen un aspecto crucial para satisfacer las necesidades y requerimientos logísticos de los distintos clientes de manera rápida, segura, confiable y eficiente.

### **1.3 Objetivos**

A continuación se menciona los siguientes objetivos a desarrollar en esta memoria:

#### **a) Objetivo Principal**

El objetivo central de esta memoria es el diseño y validación de una Regla de Despacho Compuesta que permita minimizar la sobrecontratación de servicios a transportistas externos a la empresa en una empresa, que transporta y distribuye contenedores en la Octava Región.

#### **b) Objetivos Específicos**

Con el fin de lograr lo planteado anteriormente, se definirá los siguiente objetivos específicos.

- Modelamiento de la situación actual problema, es decir, el Departamento de Despacho de la empresa en estudio, mediante el software de simulación Arena 4.0.
- Análisis de factores críticos de programación de transporte y diseño de una Regla Compuesta para el despacho de camiones

- Optimización de parámetros de la regla de despacho propuesta, a través de búsqueda estocástica con Simulated Annealing.
- Validación de la regla de despacho propuesta.

Cada uno de estos objetivos posee una serie de actividades y cada una de éstas tiene un fin específico.

Una vez desarrollado cada objetivo se desea como propósito final hacer una comparación entre la metodología actual de operación de despacho que realiza la planta versus la nueva regla de despacho propuesta, permitiendo establecer que con ésta nueva metodología de despacho se logra satisfacer el objetivo principal de esta memoria, que es de minimizar la sobrecontratación de transportistas externos a la empresa mediante la optimización del proceso de despacho de camiones.

#### **1.4 Alcances del Estudio**

El estudio posee una base de conocimientos teóricos que apoyaron la investigación en áreas referentes a modelos de simulación de eventos discretos, reglas de despacho compuesta y métodos de optimización en simulación estocástica, además abarca conocimientos técnicos del recurso físico existente en la planta, lográndose esto a través de:

- Continuas visitas a terrenos.

- Estrecha comunicación con operadores.
- Datos históricos.

El servicio de transporte es el último proceso dentro de la empresa y el más importante, ya que es, a través de este servicio, que el cliente mide la eficacia de la empresa, siendo la puntualidad en la llegada de los camiones un aspecto fundamental a la hora de medir la calidad de todo el servicio que ofrece la empresa.

El análisis y la reducción de los costos de transporte es un tema bastante complejo ya que la demanda por servicios de transporte es una demanda derivada del comercio y este último está influenciado por diferentes variables, no controlables por la empresa, las cuales tienen un fuerte impacto sobre los costos del transporte.

En este trabajo se propone una regla de despacho compuesta para la asignación de camiones a diversos servicios que se van generando en el tiempo. La idea es proveer una secuencia que minimice la sobrecontratación de camiones externos a la empresa

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, las tareas a desarrollar en esta memoria se centrarán en aquellas áreas que son controlables por la empresa y que corresponden a decisiones de tipo operativas, concernientes al secuenciamiento de despacho de camiones y cualquier conclusión que se derive

de este trabajo, será un verdadero aporte para la empresa, eso sin dejar de lado las consideraciones que se deben tener en cuenta frente a los factores externos que afectan a la empresa y que se deben considerar para cumplir los objetivos propuestos con anterioridad.

## **1.5 Metodología de Trabajo**

El desarrollo del proyecto contempla una variedad de actividades con el fin de lograr los objetivos propuestos. Estas actividades están enlazadas en su desarrollo, siendo dependiente unas de otras en los resultados que se desea obtener. Acá se utiliza toda la información teórica y técnica que ayudó a convergen para la elaboración y validación de la regla de despacho propuesta. Estas actividades pueden ser agrupadas en 2 etapas, ellas son:

### Etapa N°1

Las actividades realizadas fueron:

- Definición y descripción del departamento de despacho de la empresa en estudio.
- Diagnóstico inicial, que incluye la identificación de variables relevantes en el proceso de despacho, restricciones y reglas del negocio.
- Conocimiento de la labor y desempeño del despachador.
- Identificación de la situación problema de la empresa en estudio.

Esta etapa se caracteriza por definir los recursos existentes en la planta, sus restricciones de operación y problemática interna. Además en esta etapa se definen las variables que serán claves en la construcción del modelo.

## Etapa N°2

Esta segunda etapa tiene relación con la forma en que se abordará la situación problema, esto incluye una revisión exhaustiva de la literatura referente al desarrollo de modelos de simulación de eventos discretos, de reglas compuestas de despacho y métodos de optimización en simulación. Específicamente se desarrollaron las siguientes actividades:

- Abstracción de las reglas actuales de programación a través del modelamiento de la situación problema.
- Diseño de la regla de despacho compuesta propuesta.
- Optimización de los parámetros de la regla mediante optimización en simulación mediante búsqueda estocástica con Simulated Annealing.
- Comentarios, conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados obtenidos

En síntesis, un problema esencial en la Gestión de la Cadena de Suministros (SCM) corresponde a la determinación de la secuencia en que se ejecutarán los despachos de camiones para realizar diversos servicios. En el capítulo II se describe la importancia de la SCM, se discute la diferencia entre ésta y la logística y se definen las actividades y procesos más importantes, específicamente el

transporte. En el capítulo III se describe la empresa en estudio, su entorno y problemática, además en el capítulo IV se realiza la modelación de la situación problema, específicamente el proceso de despacho de la empresa en estudio. En el capítulo V se propone una regla de despacho compuesta para la asignación de camiones a diversos servicios que se van generando en el tiempo. La idea es proveer una secuencia que minimice la sobrecontratación de camiones externos a la empresa. Este es un problema de optimización combinatoria que obliga a utilizar técnicas heurísticas ante la imposibilidad práctica de llevar a cabo búsquedas exhaustivas.

En el capítulo VI se plantea la necesidad utilizar optimización en simulación para encontrar los parámetros de la regla de despacho propuesta. El método utilizado para la optimización de los parámetros de esta regla corresponde a una búsqueda estocástica con Simulated Annealing. Posteriormente, se realiza una comparación entre la metodología actual de operación de despacho que realiza la planta, versus la nueva regla de despacho propuesta, permitiendo establecer que con ésta nueva metodología de despacho se logra satisfacer el objetivo principal de esta memoria, que el de minimizar la sobrecontratación de transportistas externos a la empresa.

## **CAPITULO II : Gestión de la Cadena de Suministro**

### **2.1 Introducción**

El paradigma fundamental de la logística consiste en el desempeño integrado de las distintas operaciones y actividades involucradas, a efectos de lograr resultados óptimos. En este sentido, la ejecución de las actividades debe concretarse dentro un esquema operativo coordinado de las distintas áreas de competencia logística. Ballou (2004) presenta el proceso logístico a través siguiente esquema que relaciona las distintas actividades logísticas: Estrategia de Inventarios, Estrategia de Localización y Estrategia de Transporte, todas ellas en estrecha relación e interdependencia con el propósito de satisfacer las necesidades y requerimientos de los distintos clientes. La Figura 2.1 muestra la relación entre estas distintas actividades.

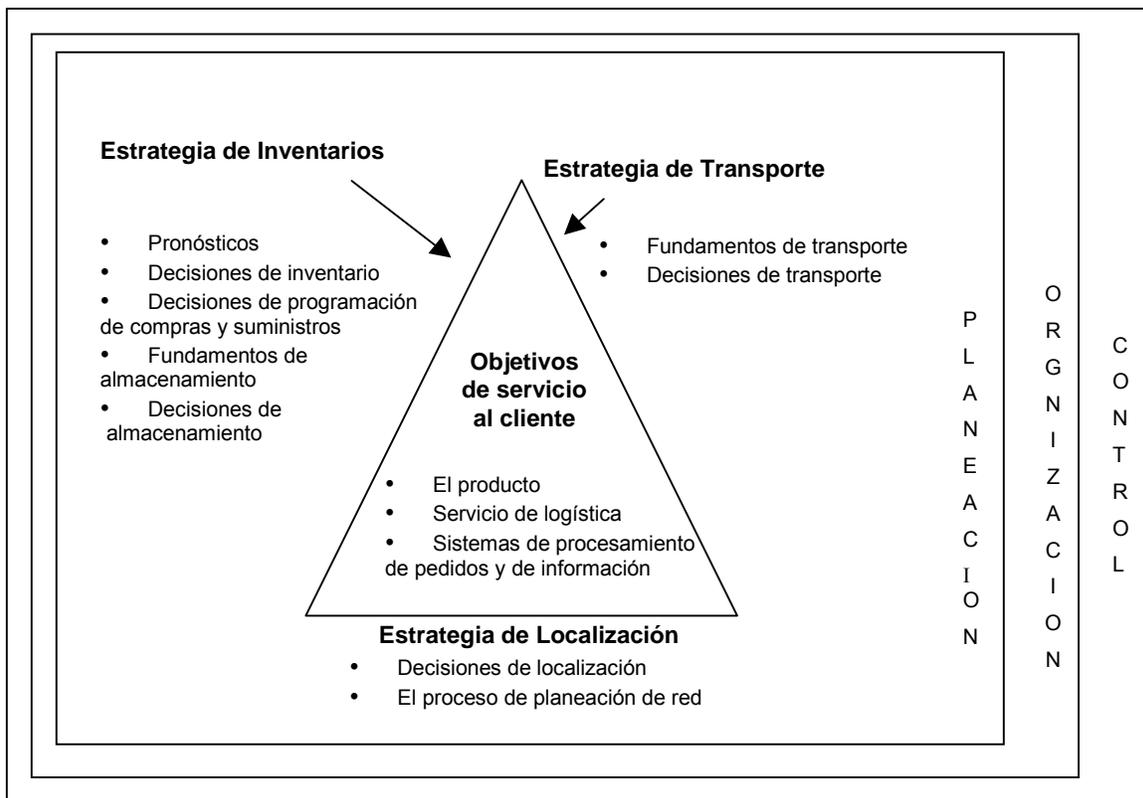


Figura 2.1. Triángulo de la planeación en relación a las principales actividades de logística/administración de la cadena de suministros

Fuente: Ballou, Administración de la cadena de Suministro, (2001).

Ahora bien, el trabajo de la dirección puede ser considerado como la realización de las tareas de planear, organizar y controlar para lograr los objetivos de la empresa. Planear se refiere a decidir sobre los objetivos de la empresa; organizar, a juntar y acomodar los recursos de la empresa para alcanzar sus objetivos, y controlar se refiere a medir el desempeño de la compañía y tomar las acciones correctivas cuando dicho desempeño no esté en línea con los objetivos.

Segundo, los administradores, tanto de nivel básico como de alto nivel, pasan gran parte del tiempo en la actividad de planeación. Para hacer una planeación efectiva es útil tener una visión de los objetivos de la empresa, tener los conceptos y principios para guiarse sobre cómo llegar hasta ahí, y tener las herramientas que ayuden a seleccionar entre diferentes cursos de acción. Específicamente en la dirección logística, la planeación forma un triángulo importante de decisiones sobre localización, inventario y transporte, y el servicio al clientes es el resultado de estas decisiones. Una explicación más exhaustiva de estos tópicos y específicamente de la estrategia de transporte serán expuestos en los siguientes apartados. A continuación se discutirán los concepto de gestión de la cadena de suministro y de logística

## **2.2 Gestión de la cadena de suministros y logística**

La logística de los negocios es un campo relativamente nuevo del estudio integrado de la gerencia, si lo comparamos con los tradicionales campos de las finanzas, el marketing y la producción. La novedad de este campo estriba en el concepto de dirección coordinada de las actividades relacionadas, en vez de la práctica histórica de manejarlas de manera separada, además del concepto de que la logística añade valor a los productos o servicios esenciales para la satisfacción del cliente y para las ventas.

Una mejor representación de este campo puede reflejarse en la definición promulgada por el Consejo de Dirección Logística (CLM, por sus siglas en inglés); organización profesional de gerentes de logística, docentes y profesionales que

se formó en 1962 con el propósito de continuar la educación y fomentar el intercambio de ideas. Su definición es la siguientes:

La logística es la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes.

Esta es una definición excelente, ya que trasmite la idea de que los flujos del producto tienen que ser manejados desde el punto donde se encuentran como materias primas hasta el punto donde finalmente son descartados. En ésta, la logística también se ocupa del flujo de los servicios, así como de los bienes físicos, un área de crecientes oportunidades de mejora. También sugiere que la logística es un proceso, es decir, que incluye todas las actividades que tienen un impacto en hacer que los bienes y servicios estén disponibles para los clientes cuándo y dónde deseen adquirirlos. Sin embargo, la definición implica que la logística es una parte del proceso de la cadena de suministros, no todo el proceso. Por eso, ¿qué es el proceso de la cadena de suministros o, dicho en forma más popular, el manejo de la cadena suministros?.

La gestión de la cadena de suministros (SCM, por sus siglas en ingles) es un término que ha surgido en los últimos años y que encierra la esencia de la logística integrada; incluso, va más allá de eso. El manejo de la cadena de

suministros enfatiza las interacciones de la logística que tienen lugar entre las funciones de marketing, logístico y producción en una empresa, y las interacciones que se llevan a cabo entre empresas independiente legalmente dentro del canal de flujo del producto. Las oportunidades para mejora el costo o el servicio al clientes se alcanzan mediante la coordinación y la colaboración entres los miembros de los canales de flujo, donde tal vez algunas actividades esenciales de la cadena de suministros no estén bajo control directo del gerente de logística.

Después de un estudio cuidadoso de las diversas definiciones existentes para la SCM, Menstzer y otros (2001), proponen la definición más amplia y general que sigue:

La gestión de la cadena de suministros se define como la coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales del negocio y de las tácticas a través de estas funciones empresariales dentro de una compañía en particular, y a través de las empresas que participan en la cadena de suministros con el fin de mejorar el desempeño a largo plazo de las empresa individuales y de la cadena de suministros como un todo.

En la practica es difícil separar la dirección de la logística de los negocios de la dirección de la cadena de suministros. En muchos aspectos promueven la misma misión de llevar los bienes o servicios al lugar adecuado, en el momento requerido y en las condiciones deseadas, a la vez consiguiendo una mayor contribución a la empresa. El límite de la logística y la cadena de suministro es

confusa. Algunos proponen que la gestión de la cadena de suministros es sólo otro nombre para la dirección de la logística; por el contrario, otros plantean que la logística es un subgrupo de la dirección de la cadena de suministros. Para efectos de esta memoria nos referiremos a la dirección integrada de la logística y a la SCM de manera indistinta.

La optimización de un sistema logístico integrado lleva implícita la necesidad de que todas las operaciones se realicen en la forma más efectiva posible. En otras palabras, el beneficio de optimizar una determinada actividad no puede desvincularse de la efectividad de las otras operaciones del sistema. En consecuencia, es recomendable aplicar técnicas de optimización que incluyan todo el manejo de la cadena de suministros, (incluyendo obviamente los aspectos logísticos de la distribución física), lo que permitirá lograr el objetivo de balancear en forma óptima los distintos componentes del sistema. Existe numerosa literatura sobre la optimización de la cadena de suministro, Lario (1999) desarrollo una aplicación informática para la planificación y optimización de la Cadena de Suministros, además Cohen y Lee (1989), Cohen y Moon (1991) y Shapiro (1993), presentan varios modelos para la gestión global de la cadena de fabricación. Squire y Kamesam (1993, 1995), Squire (1994), Escudero y Kamesan (1993, 1995) y Escudero (1994) desarrollaron una estructura de modelización para ocuparse de la optimización de la gestión de la Cadena de Suministro bajo incertidumbre.

## **2.3 Definición de las actividades logísticas**

Para definir el proceso logístico, Ballou (2001), en la Figura 2.1, nos muestra de manera esquemática las distintas actividades logísticas donde los niveles de servicio al cliente, la localización de las instalaciones, el inventario y el transporte son las principales áreas de la planeación, debido al impacto que tienen las decisiones en estas áreas sobre las utilidades de la empresa, el flujo de efectivo y las reinversiones. Cada área de decisión se interrelaciona y la estrategia de transporte debe planearse al menos con cierta consideración de equilibrio.

### **2.3.1 Objetivos de servicio al cliente**

En mayor medida que cualquier otro factor, el nivel proporcionado de servicio logístico al cliente afectará en forma notable el diseño del sistema. Los bajos niveles de servicio permiten inventarios centralizados en sólo unas cuantas ubicaciones y también permiten el uso de formas de transporte menos costosas. Los altos niveles de servicio por lo general requieren justamente lo contrario. Sin embargo, cuando se presionan los niveles hacia sus límites superiores, los costos de logística se elevarán a una razón desproporcionada con respecto del nivel de servicio. Por ello, la primera preocupación en la planeación estratégica de logística deberá ser el adecuado establecido de los niveles de servicio al cliente.

### **2.3.2 Estrategia de ubicación de instalaciones**

La disposición geográfica de los puntos de abastecimiento y de sus puntos de contratación crea un bosquejo para el plan de logística. El establecimiento del número, ubicación y tamaño de las instalaciones y la asignación de la demanda de

mercado para ellos determinarán las rutas por medio de las cuales se dirigirán los productos al mercado. El ámbito adecuado para el problema de ubicación de instalaciones es incluir todos los movimientos de producto y sus costos asociados a medida que éstos se presenta, desde las ubicaciones de la planta, proveedor, o puerto a través de los puntos de almacenamiento intermedio y hacia las ubicaciones del cliente. La asignación de la demanda que se atenderá directamente desde las plantas, proveedores y puertos o el direccionamiento de ella a través de puntos de abastecimiento seleccionados, afectará los costos de distribución totales. La búsqueda de asignaciones de costos más bajos, o en forma alternativa, las asignaciones de utilidad máxima, son la esencia de la estrategia de ubicación de instalaciones.

### **2.3.3 Decisiones de inventario**

Las decisiones de inventario se refieren a la forma en que se manejan los inventarios. La asignación de inventarios (entrada) a los puntos de almacenamiento contra la salida (pulling) hacia los puntos de almacenamiento mediante reglas de reabastecimiento de inventario, representan dos estrategias. La ubicación selectiva de distintos artículos en la línea de producción en los almacenes de planta, regionales o de campo, o la administración de los niveles de inventario el uso de distintos métodos de control de inventario.

### **2.3.4 Estrategia de transporte**

El transporte es esencial porque ninguna empresa moderna puede operar sin el movimiento de sus materias primas o de sus productos terminados. Es un

área de decisiones clave en la logística ya que ésta absorbe entre uno y dos tercios de los costos totales de logística.

Las decisiones de transporte están influidas por la proximidad de los almacenes a los clientes y a las plantas, lo cual, a su vez, afecta la ubicación de almacenes. Los niveles de inventario también responden a las decisiones de transporte mediante el tamaño del envío.

Aunque las decisiones sobre el transporte se expresan en una variedad de formas, las principales son la selección del modo, el diseño de ruta y programación de los vehículos y la consolidación del envío. A continuación se describen cada una de ellas y se realiza un análisis de acuerdo a la problemática a enfrentar en esta memoria.

#### **a) Selección del modo de transporte**

La selección de un modo de transporte o la oferta de servicios que incluya un modo de transportación depende de diferentes características del servicio. McGinnis (1990), descubrió seis variables claves para elegir un servicio de transporte: 1) tarifa de flete; 2) seguridad o confiabilidad; 3) tiempo en tránsito; 4) pérdidas, daños procesamiento de quejas y reclamos, y rastreo; 5) consideraciones de mercado del consignatario, y 6) consideraciones del transportista. Aunque las tarifas de fletes son importantes y pueden ser determinantes de la elección en algunas situaciones, el servicio por lo general sigue siendo más importante.

Se considera que el servicio de transporte no puede ser elegido si no está disponible, entonces el tiempo en tránsito (velocidad) y la variabilidad del tiempo

en tránsito (confiabilidad) quedan como los factores claves para elegir un servicio, seguido por el costo. En nuestro caso, la regla de despacho propuesta busca conseguir una mayor disponibilidad de nuestros camiones que me permitan satisfacer los servicios demandados al menor costo posible.

#### **b) Programación y diseño de ruta**

Los problemas de ruteo y programación tienen un impacto relevante en el costo de transporte y el nivel de servicio al cliente. Se identifican 3 tipos básicos de problemas de ruteo; encontrar una ruta en una red donde el origen es diferente al punto destino; definir rutas de transporte entre múltiples orígenes y destinos y ; el problema de rutear vehículos cuando el origen y el punto destino son los mismos.

La solución del primer tipo de problema se facilita mediante el uso de métodos para encontrar los caminos más cortos entre puntos, el segundo tipo de problema ha sido resuelto mediante la aplicación del método de transporte y variaciones de éste y la solución del tercer tipo de problema incluye la utilización de numerosos y diversos modelos como el del agente viajero (TSP), ruteo de vehículos (VRP), el VRP con ventanas de tiempo (VRPTW), el problema de recoger y entregar (PDP), el problema de ruteo e inventario (IRP), y otros.

La complejidad de este tipo de problemas se incrementa cuando se consideran cierto tipo de restricciones como que cada parada puede tener un volumen que tiene que ser recogido además de entregado; pueden usarse

múltiples vehículos con diferentes limitaciones de capacidad, tanto en peso como en volumen; se permite un máximo de tiempo de conducción en ruta antes de tomar un período de descanso; las paradas pueden permitir recolección y entregas sólo a ciertas horas del día; se puede permitir recolección en una ruta sólo después de haber efectuado las entregas, y se puede permitir a los conductores tomarse breves descanso o paradas para comer a ciertas horas del día, etc.

En relación a este tipo de problemas, existen numerosos estudios publicados, Wren (1999) analiza el problema de asignación de flota y personal, Ceder y Israeli (1998), Baaj y Mahmassani (1991) el problema de diseño y optimización de rutas y frecuencias, Shih, Mahmassani y Baaj (1998) proponen una extensión del método de Baaj y Mahmassani (1991) que se adecua particularmente a la planificación de servicios coordinados de transporte multimodal, en modalidad de flota heterogénea. Liu y Shen (1999) proponen una heurística para resolver problemas de tamaño de flota y ruteo de vehículos con ventanas de tiempo, Gendreau y Laporte (1996) presentan una heurística tabu search donde tanto la ubicación como la demanda de la flota son variables aleatorias. Pacheco y Delgado (1998), abordó un modelo mas general al contemplar flotas heterogéneas, concretamente se proponían Metaheurísticos basados en procesos de Simulated Annealing y Tabu Search. Cabe notar que también se han propuestos algoritmos heurísticos basado en el enfoque genético para un problema dinámico de recoger y entregar material para cada cliente, Le Clerc y Potvin (1997), además Fernández (1995) desarrolló un sistema de apoyo para el despacho de vehículos de emergencia basado en algoritmos heurísticos.

Es importante destacar que nuestro sistema de transporte en estudio sólo se consideran servicios de transporte que contenga como origen y/o destino un hub, omitiendo las posibilidades de realizar paradas múltiple o ruteo debido a que el camión solo puede transportar un solo contenedor, para este caso ver los trabajos de Powell (1986) y Powell y Sheffi (1983 y 1989) o el de Leung y otros (1990).

El procesamiento y despacho de transporte es la actividad clave final, el procesamiento de pedidos es un elemento importante en el tiempo total que se requiere para que un cliente reciba los bienes o servicios. Es la actividad que desencadena el movimiento del producto y la entrega del servicio.

Una adecuada programación de tareas permite el funcionamiento de cualquier sistema manteniendo la eficiencia y el control de las operaciones, Pinedo (1995). La investigación en el campo de secuenciamiento y programación de tareas ha sido muy amplia. Un panorama excelente en el tema, incluyendo resultados de complejidad computacional, esquemas de optimización exacta y algoritmos de aproximación pueden encontrarse en el trabajo de Lawler et al (1993) y Allahverdi et al (1999), además, Panwalkar e Iskander (1977) identifican más de 100 reglas de despacho posibles. Mas detalles sobre heurísticas y reglas de despacho, ver en Morton y Pentico (1993), Pinedo (1995), Guéret (1998), Liaw (1998) y Rajendran y Ziegler (2001).

En esta memoria se plantea el problema de asignar a los “m” camiones existente en planta, las “n” ordenes de servicios generadas durante un día normal de operación, mediante la creación de una regla de despacho compuesta, Pinedo y Chao (1999), es decir, se pretende despachar a los camiones mediante una

regla que combine características propias y dinámicas de cada camión con características propias y dinámicas de las ordenes de servicio. Cada una de estas variables que contempla esta regla debe tener asociado distintos pesos o parámetros. Es importante recalcar que para la determinación de los parámetros de esta regla compuesta se utilizará el método de búsqueda local o procedimientos de exploración de entornos, Díaz y otros (1996), específicamente se utilizará la metaheurística de búsqueda probabilística Simulated Annealing (SA) la cual incluye un criterio de aceptación probabilística.

Para la optimización de los parámetros de dicha regla se utilizará optimización en simulación. Diversas estrategias de optimización han sido utilizadas en problemas de optimización en simulación. Dentro de las técnicas más importantes usadas en problemas de optimización en simulación, ver publicaciones de Safizadeh (1990); Azadivar (1992); Fu (1994); Carson y Maria (1997) y Andradóttir (1998a, 1998b). Morito et al.(1993) utiliza una combinación entre el método de búsqueda estocástica Simulated Annealing y simulación para buscar la apropiada secuencia de despacho que permita minimizar las tardanzas en un sistema flexible de manufactura (FMS, sus siglas en ingles).

Finalmente, en este trabajo se propone una regla de despacho compuesta para la asignación de camiones a diversos servicios que se van generando en el tiempo. La idea es proveer una secuencia que minimice la sobrecontratación de camiones externos a la empresa. Para obtener la regla despacho compuesta se modelo el sistema usando simulación de eventos discretos, luego de lo cual se

aplicó optimización en simulación para encontrar los parámetros de la regla. La técnica usada para optimización corresponde a una búsqueda estocástica con Simulated Annealing.

**c) Consolidación del envío**

En el transporte, las tarifas reducidas que corresponden a los tamaños mas grandes de envíos animan a los gerentes a embarcar en grandes cantidades. Consolidar pequeños envíos en otros grandes es la principal manera de alcanzar un costo menor de transporte por unidad de peso. Como se explicó anteriormente, en ésta memoria se transportan contenedores, por lo tanto la consolidación del envío en nuestro caso corresponde a transportar un solo contenedor.

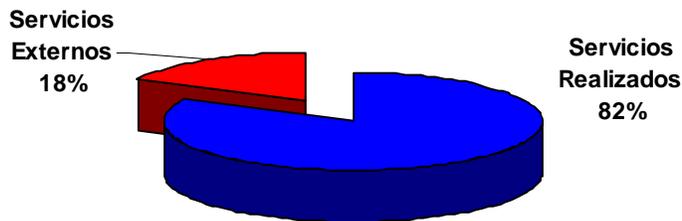
### CAPITULO III: Antecedentes del caso en estudio

#### 3.1 Introducción

Como el objetivo central de esta memoria es el diseño y elaboración de una Regla de Despacho Compuesta, con el propósito de minimizar la sobre contratación de servicios a transportistas externos a la empresa.

La importancia de los problemas de transporte se hace evidente cuando se considera la magnitud de los costos asociados a esta actividad, donde un pequeño ahorro de los costos asociados a esta actividad puede derivar en un ahorro sustancial de los costos operacionales totales para la empresa a través de los años.

La siguiente gráfica nos muestra que actualmente un 18% de los servicios generados durante un mes de operación es realizado por transportistas externos a la empresa. Este sobre costo es importante y relevante considerando los costos asociados a esta actividad y que motivan este estudio.



En este capítulo se describirá a la empresa en estudio, su problemática y los distintos actores logísticos con los cuales la empresa tiene que interactuar en las distintas operaciones que ésta realiza, ya que es de vital importancia tener una visión global de estos actores ya que de una u otra manera afectan directa e indirectamente las operaciones de la empresa, especialmente el transporte y distribución de contenedores.

### **3.2 La Empresa**

La empresa en estudio corresponde a una empresa Embarcadora, la cual ofrece una amplia gama de servicios relacionados con el transporte multimodal y el manejo de contenedores, facilitando a los importadores, exportadores y compañías navieras, la realización de sus diversas operaciones logísticas.

La flexibilidad que requieren estas operaciones, a menudo muy particulares, y las exigencias de economía en costos y tiempo, son parte primordial de los servicios que otorga esta empresa, entre los que destacan:

- **Servicio de Transporte Terrestre**

Servicio de transporte rodoviario y ferroviario, entre las plantas o bodegas de los clientes, y los distintos puertos del país, conectados ambos a través de nuestra red de terminales, ubicados estratégicamente a lo largo del territorio nacional.

- **Servicio a la Carga**

La empresa cuenta con terminales para las cargas de importación y de exportación, tales como: almacenaje de contenedores cargados, consolidación y desconsolidación de contenedores , almacenaje de cargas, control de stocks, preparación de pedidos(picking), paletizado, etiquetado y enzunchado.

- **Deposito de Contenedores**

La empresa posee terminales especializados en el manejo de todo tipo de contenedores. Modernos equipos y tecnología de avanzada le permiten administrar eficientemente las necesidades logísticas y de información requerida por las compañías navieras en los servicios de almacenaje, mantención y reparación de sus flotas de contenedores.

- **Arriendo de Contenedores**

La empresa dispone de una amplia flota de contenedores estándar y frigoríficos para arrendar, tanto dentro, como fuera del territorio nacional. Estos equipos permiten a nuestros clientes disponer de bodegas y cámaras frigoríficas en el lugar y por el plazo que se requiera.

Ahora bien, dada las características de este sector, en las etapas previas para llevar a cabo el despacho, actúan diversos organismos y empresas que afectan directa e indirectamente el proceso de transporte, por lo tanto se

mencionaran a continuación los diversos actores logísticos involucrados y sus efectos en el transporte.

### **3.3 Actores Logísticos**

- **El Exportador**

En el ámbito de la compra y venta internacional, los actores directos y protagónicos son los diferentes empresarios (Exportadores) que buscan en los mercados externos oportunidades para comercializar sus productos. Para realizar este intercambio de bienes muchas empresas tercerizan este servicio, es decir, contratan los servicios de una empresa embarcadora para el almacenamiento y consolidación de su carga (proceso físico de introducir la carga en el interior del contenedor) y finalmente para el transporte de su carga a puerto, por lo tanto es el exportador el actor que demanda los servicios de transporte y distribución de contenedores a la empresa embarcadora.

- **Compañía Naviera**

La Compañía Naviera es la empresa encargada del transporte marítimo de las mercancías. Para realizar esta labor, es necesaria una gran planificación y coordinación entre los agentes participantes del proceso de exportación.

La Compañía Naviera es la propietaria de las naves y contenedores en los que se consolidará la mercancía, para su exportación. Además, es la responsable de las mercancías, desde el momento en que el Exportador lo elige, depositando, así, en ella su confianza, para que éstas lleguen en buen estado a manos del Importador.

- **Servicio Nacional de Aduanas**

El Servicio Nacional de Aduanas cumple un rol clave en el contexto del comercio exterior, tanto desde la perspectiva fiscalizadora, que corresponde a la esencia de su quehacer, como desde el punto de vista del desarrollo comercial y el posicionamiento del sector exportador nacional en los mercados internacionales.

En este marco, el propósito de las Aduanas es facilitar y agilizar las operaciones de comercio exterior, a través de la simplificación de trámites y el uso eficiente de herramientas de gestión, que permitan fortalecer las capacidades de fiscalización y facilitar la gestión del sector privado.

- **Agente de Aduana**

Es el nexo entre el embarcador y el importador ya que es el encargado de tramitar el ingreso de las mercancías al Puerto.

- **Puerto**

La Empresa Portuaria tiene por objeto la administración, explotación, desarrollo y conservación del Puerto, incluida todas las actividades inherentes al ámbito portuario e indispensable para el cumplimiento de su objetivo.

Las mercancías embaladas en contenedores, cumplen una serie de pasos al ser recepcionadas por el Puerto, uno de ellos es el pesaje y la verificación de la documentación requerida.

Se debe tener en cuenta que en los puertos, al ser puntos de recepción, expedición y trasbordo de cargas, confluyen una gran variedad de movimientos intermodales y actividades logísticas. En las instalaciones portuarias se dan, por tanto, una gran cantidad de procesos simultáneos con una marcada aleatoriedad en ciertas etapas (la llegada y salida de los buques, por ejemplo).

### **3.4 Actores logísticos en el proceso de transporte**

El proceso de transporte se inicia cuando el Exportador contacta a la Compañía Naviera para reservar el espacio requerido en las naves que llevarán las mercancías al exterior, de este modo, ellos intercambian toda la información necesaria para que el Exportador confeccione las Instrucciones de Embarque, documento que posteriormente será entregado por él mismo al Agente de Aduana y al Embarcador.

El Exportador contrata el servicio de una Empresa Embarcadora, quien será la encargada del almacenamiento, consolidación y transporte de las mercancías al puerto, a medida que esto sea necesario. De aquí en adelante la relación de estas empresas será a través del Agente de Aduanas, quién es el nexo entre ellas.

La participación del transporte se inicia en el momento que el ejecutivo de ventas de la empresa Embarcadora recibe las Instrucciones de Embarque por parte del Exportador, esta contiene información específica sobre la fecha y hora que se requiere este servicio, nave en la cual se embarcarán los contenedores, la cantidad y tipo de contenedores a exportar, la Compañía Naviera y al Agente de Aduana involucrados en este proceso y el medio de transporte a utilizar para el

traslado de los contenedores, ya sea por vía terrestre o ferroviaria. En esta memoria se analizará solo el medio de transporte terrestre.

Con estos antecedentes, la empresa Embarcadora procede al retiro de los contenedores vacíos del depósito para su bajada a piso en el sector de la bodega correspondiente al cliente. El Exportador es el encargado de la creación del picking, que corresponde a las instrucciones específicas del tipo de carga que debe llevar el contenedor en su interior. Con esta información se procede a la consolidación de carga, proceso mediante el cual se ingresa la carga requerida por el Exportador al interior del contenedor, y el sellado de estos.

Una vez realizado este proceso, los contenedores consolidados son cargados al camión, para iniciar su ruta hacia el Stacking del Puerto, en la fecha y horario establecido para esto. Antes del despacho de estos camiones, el Embarcador se debe comunicar con el Agente de Aduanas, para conocer con exactitud todos los pasos a seguir del embarque, ya que este último es el encargado de tramitar el ingreso de la mercancía al Puerto.

El Embarcador envía el contenedor al Puerto, donde se le exige, al momento de ingresar a Puerto, el Documento Único de Salida (DUS), tramitado y elaborado por el Agente de Aduanas, el que es presentado por éste o por un auxiliar de la Agencia de Aduanas. A este documento se le verifica el TACT (Título de Admisión Temporal del Contenedor), proceso realizado por un funcionario de la

empresa portuaria quien, en conjunto con el transportista, presenta ambos documentos ante el personal del Servicio Nacional de Aduanas. El oficial aduanero es la persona que recibe en ese momento el DUS y la Guía de Despacho, quien luego de verificar los antecedentes que poseen estos documentos los ingresa al sistema del Servicio Nacional en espera que éste arroje desde la central de Valparaíso si las mercancías tendrán Aforo Documental o Físico.

El aforo documental tiene que ver con la verificación de la documentación requerida para el ingreso de los contenedores al puerto, proceso antes descrito, en cambio el aforo físico corresponde a la desconsolidación de los contenedores, es decir, se retira la carga del contenedor para verificar que el contenido de esta corresponda a lo declarado en la guía de despacho.

### **3.5 Consideraciones del sector**

Dada las características de este sector, y tomando en consideración los distintos actores logísticos involucrados el proceso de transporte y distribución de contenedores, es difícil construir una única aplicación que integre a todos los actores logísticos antes descritos.

Tomando en consideración el proceso mismo de transporte, se abordará este problema de forma independiente, pero sin perder de vista la interrelación e interdependencia entre los distintos actores involucrados en este proceso.

### **3.6 Problemática de transporte**

#### **3.6.1 Flota de transporte**

La flota de transporte con la que se ejecutan las tareas de transporte y distribución no es de propiedad de la empresa, sino que es subcontratada a micro-empresarios transportistas de la zona, los cuales se encuentran empadronados en la empresa.

Es importante recalcar el transporte no es de propiedad de la empresa, pero ésta posee el control operacional del transporte y por lo tanto es la encargada de coordinar los despachos con los distintos actores logísticos explicado anteriormente. La flota de transporte existente es bastante atomizada, es decir, posee una gran cantidad de transportistas dueños de un solo camión, lo que dificulta la capacidad de éstos para renovar su flota y realizar mantenciones periódicas de sus camiones.

A modo de simplificación del problema se empleara el término de *transportistas de la empresa* a aquellos transportista empadronados en la empresa y con los cuales la empresa posee un acuerdo tarifario, tarifa calculada de acuerdo a dos variables:

- Distancia Recorrida: implica un conocimiento cabal de la ubicación geográfica del cliente y del trayecto a realizar por el transportista, se establece una tarifa de acuerdo a los km. recorridos.

- Carga Transportada: los pagos se hacen en función de la carga transportada, la cual puede ser: transporte de contenedores vacíos, full y el transporte de carga suelta (paquetes de carga paletizada)

y se denominaran *transportistas externos* a aquellos transportista que debe recurrir la empresa cuando no posee camiones disponibles en la planta para realizar un determinado servicio, generandose un sobre costo.

Los *transportista de la empresa* tienen la dura responsabilidad de llevar por el país la imagen corporativa de la empresa, por lo que deben tener especial cuidado con el comportamiento de su tripulación durante el recorrido de la ruta y entrega de las mercancías a los clientes. En los casos de incurrir en faltas como mala atención, demoras en el cumplimiento de los servicios o no entrega de la carga, pueden ser sancionados con una multa o suspenderlos obligándolos a parar la operación de sus vehículos por el lapso de tiempo que estime la empresa de acuerdo a la gravedad de la falta.

El hecho de contar con ésta flota de transporte trae consigo ventajas, (descentralización administrativa) y desventajas, (falta de control y de seguridad del servicio), ya que no existe obligatoriedad por parte de los transportistas de presentarse diariamente en la empresa, lo que dificulta la planificación de las operaciones de transporte.

### **3.6.2 Proceso de despacho de camiones**

La tarea específica del despacho consiste en recibir y clasificar, de acuerdo a su grado de prioridad, las llamadas de servicios que realizan los distintos clientes a la empresa. Dichos servicios se verifican o confirman antes de ser despachados, previa coordinación con los demás actores logísticos involucrados.

Actualmente, el proceso de despacho de vehículos se efectúa en forma manual, es decir, existe un operador responsable (despachador), el cual debe programar las actividades y las llamadas de servicio, basándose en su experiencia.

El criterio utilizado para asignar los trabajos consiste en cumplir con los requerimientos de prioridad del cliente, y los camiones son despachados a través de la regla FIFO de despacho, es decir, el primer camión que llega a la planta es despachado de acuerdo a las características del servicio.

### **3.7 Descripción del problema**

El proceso de planificación y programación de despacho se inicia con el procesamiento de las ordenes de servicio de los distintos clientes que posee la empresa. Esta información es transmitida al departamento de despacho quienes son los encargados de despachar estos servicios según las condiciones de prioridad de los servicios. La empresa cuenta con una flota de transporte heterogénea, es decir, no todos los camiones existentes en la empresa pueden realizar todos los servicios que son requeridos. Actualmente se programan los

despachos de manera manual y los camiones son despachados según la regla FIFO de despacho.

El problema surge cuando no existen camiones en la planta para dar cumplimiento a los distintos requerimientos de los clientes. En esta situación la empresa se ve obligada a subcontratar los servicios de transporte a proveedores externos generándose un sobre costo, el cual es asumido por la empresa debido a que está en juego su imagen, prestigio y confianza.

### **3.8 Definición del problema**

Este trabajo pretende entregar una metodología de despacho de camiones que permita, a través de una regla de despacho, asignar los “m” camiones existentes en planta a las “n” ordenes de servicio generadas durante un día de operación.

Es importante destacar que el ambiente en que se desenvuelve la empresa es dinámico, es decir, las ordenes de servicio van arribando durante el mismo día de operación lo que dificulta la planificación y programación del transporte, por lo tanto, la regla de despacho a desarrollar debe ser capaz de captar el entorno dinámico en que se desenvuelve la empresa de manera eficaz para dar cumplimiento a los servicios demandados y eficientemente en el manejo de sus recursos con el propósito que permita, minimizar la sobre contratación de transportistas externos a la empresa para dar cumplimiento a sus clientes, ya que ante la imposibilidad de contar con sus propios camiones, la empresa debe subcontratar estos servicios y asumir este sobre costo, ya que dada las

características del sector y reconociendo la importancia del transporte y distribución de contenedores, un incumplimiento o atraso trae consigo un daño tanto en la imagen corporativa de la empresa como en la no renovación de futuros contratos.

Como el objetivo principal de esta memoria es minimizar los costos de transporte derivados de la subcontratación de transportistas externos a la empresa, los cuales poseen una tarifa superior a la establecida por la empresa, es preciso determinar la secuencia óptima para el despacho de camiones con el propósito de satisfacer la demanda de servicios con los transportista perteneciente a la empresa.

### **3.9 Requerimiento de Información**

Los datos requeridos para dar cumplimiento a los objetivo antes expuestos, incluyen un análisis de las siguientes características:

- **Características de la flota de transporte**
  - Tipo de vehículos
  - Número de vehículos/día
  - Capacidades de carga
  - Estado mecánico

- **Información sobre las demandas de servicio**
  - Frecuencia de servicios
  - Tramos más frecuentes
  - Frecuencia y horarios de despacho
  
- **Datos geográficos del cliente**
  - Tiempo de viaje kilómetros y costos
  - Restricciones de vialidad de tránsito de la zona y aspectos de índole topográfico del terreno.

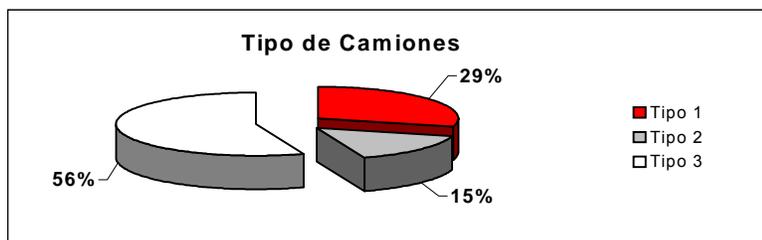
### **3.9.1 Características de la flota de transporte**

#### **a) Tipo de vehículos**

La flota existente está segmentada de acuerdo a las características mecánicas de los camiones, ya que no todos los camiones pueden satisfacer todos los servicios siendo una variable importante la ubicación geográfica de los distintos clientes.

Estos camiones se pueden clasificar en tres tipos.

- Camión Tipo 1: Nivel Nacional
- Camión Tipo 2: Nivel Regional (desde VIII hasta IX Región)
- Camión Tipo 3: Nivel Local (Provincia de Concepción)



Del gráfico podemos ver claramente que un 29% de la flota existente en la empresa es del tipo 1, es decir, puede satisfacer cualquier tramo dentro del territorio nacional, un 15% es del tipo 2, es decir cubre la VIII y IX región y un 56% de la flota de transporte es del tipo 3, es decir, puede satisfacer solamente tramos locales.

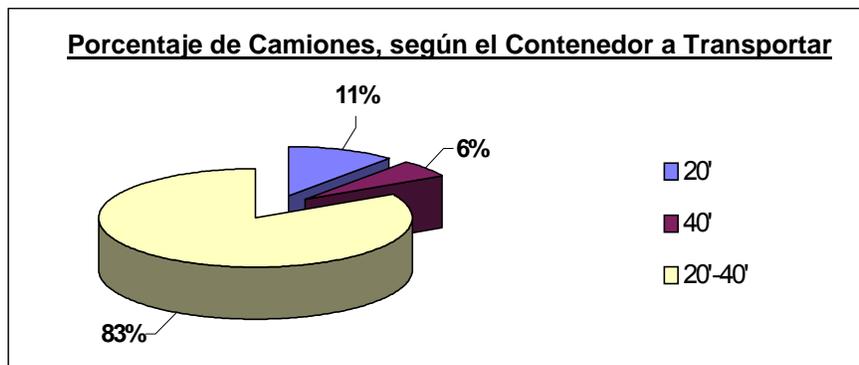
**b) Número de vehículos/día**

Como se explico anteriormente, la flota de transporte no es de propiedad de la empresa y se tiene solo un acuerdo tarifario con estos transportistas, el problema radica en que no existe obligatoriedad de presentarse diariamente los camiones en la planta, dificultando la capacidad para planificar el transporte, por lo tanto la empresa cuenta con una flota variable y de distinto tipo.

**c) Capacidades de carga**

Dentro de la flota de transporte existente en la empresa, todos los camiones pueden transportar un contenedor full (cargado), es decir resisten un peso de 30 Toneladas, peso máximo permitido en un contenedor, el problema radica en que no todos los camiones tienen una rampla adaptada para transportar contenedores de 20 ó 40 pies, es decir existen camiones que solo pueden transportar

contenedores de 20' o de 40', disminuyendo la capacidad para transportar cualquier tipo de contenedor.



Del gráfico anterior podemos ver que el 83% de los camiones existentes en la empresa pueden transportar indistintamente contenedores de 20 ó 40 pies, un 11% pueden transportar contenedores de 20 pies y solo y un 6% de los camiones puede transportar contenedores de 40 pies.

#### **d) Estado mecánico de los vehículos**

Una de las desventajas de contar con transportistas externos es la falta de control, específicamente en lo que tiene que ver con el estado mecánico de los camiones, ya que el único requisito que impone la empresa para la operación de estos es que todos los vehículos cuenten con su revisión técnica y permiso de circulación al día. En este caso, al estar la flota de transporte altamente atomizada el propietario del vehículo no posee la solvencia económica para renovar su flota o realizar mantenciones periódicas de su vehículo, aumentando la probabilidad de accidentes en ruta o en el peor de los casos no cumplimiento del servicio.

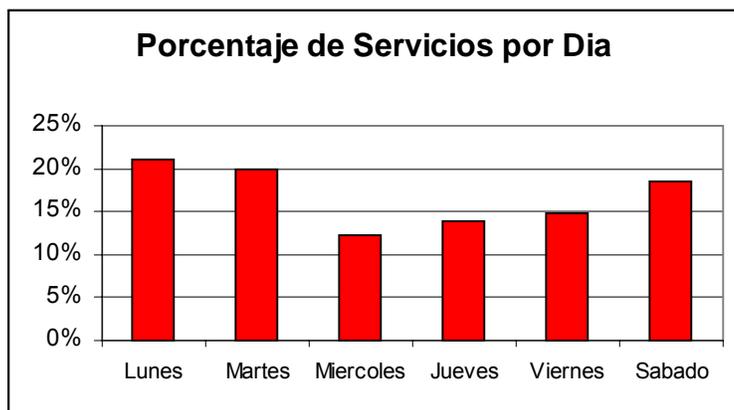
### 3.9.2 Información sobre las demandas de servicio

#### a) Frecuencia de servicios

Podemos ver claramente que la frecuencia de los servicios de transporte se concentran al inicio y término de la semana,

Tabla 3.1 **Frecuencia de servicios**

Día	Porcentaje
Lunes	21%
Martes	20%
Miércoles	12%
Jueves	14%
Viernes	15%
Sábado	18%



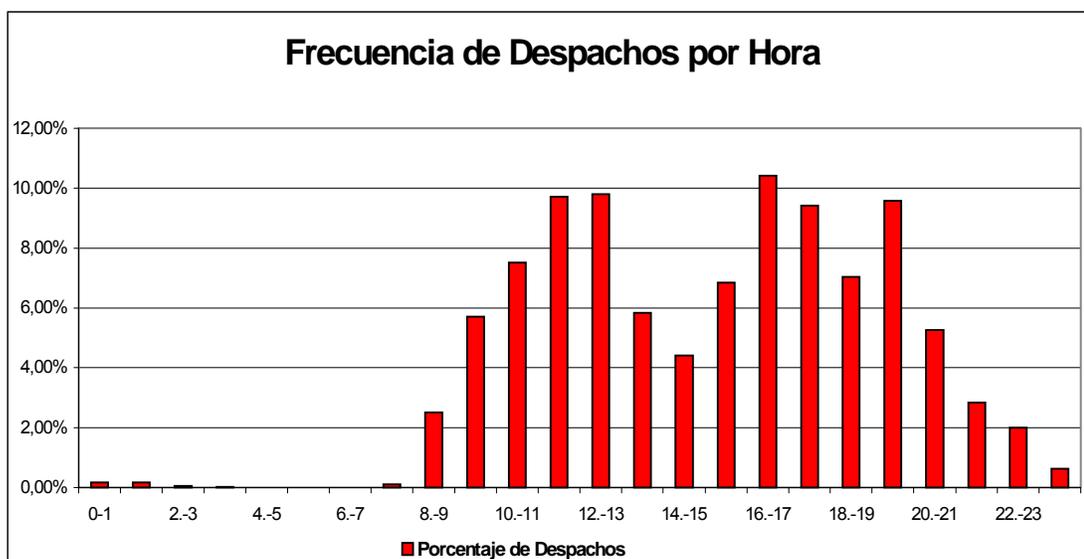
#### b) Tramos más frecuentes

Los tramos más frecuentes realizados por la empresa tienen como destino final los distintos puertos de la zona, específicamente los puertos de Lirquén, San Vicente y Talcahuano. Existen tramos intermedios, previos a la etapa de exportación, como por ejemplo el transporte de carga suelta desde la planta de los

cliente hasta la bodega de la empresa para su posterior consolidación y despacho a puerto.

### c) Frecuencia y horarios de despacho

En el gráfico podemos ver claramente que la hora de mayor concentración de los despachos se producen entre las 10-12 horas y entre las 16-19 horas, en estos horarios es donde se producen la mayor contratación de transportista externos a la empresa.



### 3.9.3 Datos geográficos del cliente

#### a) Tiempos de viaje

La empresa posee una importante cartera de clientes de los cuales conoce con exactitud su ubicación geográfica, ya que de acuerdo a la distancia del cliente y al tipo de carga a transportar, se establecieron las tarifas con los transportistas.

En relación a los tiempos de viaje, existe bastante aleatoriedad ya que estos dependen de una serie de factores externos a la empresa, como por ejemplo:

- Demoras en la carga y descarga de contenedores en el puerto
- Hora de Despacho, ya que existen horas pick de mayor congestión vehicular
- Demoras en la planta de los clientes en el proceso de carga y descarga de los contenedores
- Atrasos del Agente de Aduana en el puerto, ya que este debe estar presente físicamente, con la documentación requerida, para que los camiones puedan ingresar al puerto
- Deficiente estructura vial
- Infracciones, accidentes en la ruta y fallas mecánicas propias del camión.

#### **b) Restricciones de vialidad de tránsito**

Como la gran parte de los despachos tienen como destino final los distintos puertos de la zona, uno de los obstáculos que se detectó del sistema portuario son sus deficientes redes viales de transporte, provocando grandes cuellos de botella en el ingreso de los camiones al puerto, aumentando con ello los tiempos de viaje.

### **3.10 Conclusión**

Normalmente en este tipo de ambientes, los tiempos de llegada de los clientes que demandan un servicio tienen un comportamiento estocástico, es decir, no son una variable determinista controlable por el sistema sino más bien se trata de una variable externa que puede ser determinada y administrada a través de elementos de estimación estadística. Esto último, imposibilita la estrategia para modificar el comportamiento en la llegada de las ordenes de servicio de los clientes al sistema, ya que este fenómeno está fuera del control. Así pues, partiendo del caso en el cual no es posible manipular la demanda requerida para suministrar un servicio y así estabilizar su comportamiento y evitar las sobrecargas en ciertos horarios del sistema, la única estrategia posible es la de administrar la planta de manera dinámica en el tiempo con la finalidad de hacerla lo suficientemente flexible para poder administrar los picos de demanda requeridos a ser cubiertos en el sistema.

De acuerdo a lo anterior, el objetivo central de esta memoria es el diseño de una Regla Despacho Compuesta aplicada a una empresa embarcadora, que transporta y distribuye contenedores en la Octava Región, con el propósito de minimizar los costos operacionales que la actividad de transporte representa para la empresa al disminuir la sobre contratación de transportistas externos a la empresa.

Para la resolución de este problema se hará uso de herramientas típicas de Ingeniería Industrial como la simulación de eventos discretos, la cual se utilizará para el modelamiento del proceso de transporte de la empresa en estudio,

posteriormente se realizará el diseño de la regla compuesta de despacho, definiendo las variables y parámetro que componen esta regla para luego utilizar métodos de búsqueda estocástica para la optimización de los parámetros de dicha regla.

Una vez definida la regla con sus respectivas variables y parámetros se estimará de manera cuantitativa el efecto que tendría la nueva regla de despacho en la empresa en estudio.

## **CAPITULO IV : Modelamiento de la situación problema**

### **4.1 Introducción**

A continuación se entrega la descripción del modelamiento computacional del departamento de despacho de la empresa en estudio. En lo siguiente se presentan antecedentes sobre a simulación, antecedentes generales del modelo, su lógica de procesamiento y validación.

### **4.2 Antecedentes generales sobre la simulación**

La Simulación es una técnica de la Investigación de Operaciones que consiste en imitar el funcionamiento de un sistema a través de un modelo, de tal forma que sea posible inferir conclusiones sobre características del interés del sistema real. Representa, en sí, una herramienta para el análisis, diseño y operación de sistemas complejos. Para obtener información más detallada, ver Banks, Carson y Nelson (1996) y Law y Kelton (1991).

Un estudio de simulación es, por su misma naturaleza, un proyecto y como en cualquier otro proyecto, hay tareas a ser completadas y recursos que se requieren para ser completados. Para ser exitoso, un proyecto de simulación debe ser planeado conociendo los requerimientos para cada tarea involucrada. Muchos fracasos resultan de la precipitación de entrar directamente a la simulación, sin primero haberse tomado el tiempo para considerar los pasos involucrados y desarrollar un plan a seguir.

La modelación de simulación requiere buenas habilidades de análisis, estadística, comunicación, organización e ingeniería. El modelador debe comprender el sistema que está siendo investigado y ser capaz de analizar relaciones complejas de causa-efecto, que determinan el desempeño del mismo.

### **4.3 Definición de simulación**

Es una técnica de Investigación de Operaciones que consiste en imitar en funcionamiento de un sistema a través de un modelo, de tal forma que, es posible inferir conclusiones sobre características de interés del sistema real. Generalmente se emplea cuando los sistemas son demasiado complejos como para ser modelados en forma analítica y/o cuando no se puede experimentar sobre ellos. La experimentación con el modelo permite sacar conclusiones sobre el comportamiento y la eficiencia de las posibles variaciones del sistema real, Pritsker (1986).

Los modelos de simulación de eventos discretos utilizan el computador para mejorar modelos de la realidad, tomando como variables independientes el tiempo sobre un periodo determinado. Los datos obtenidos son utilizados para realizar estimaciones y tomar estadísticas respecto de la información de interés. Es necesario dejar en claro que, esta técnica permite describir y observar el comportamiento del sistema en estudio dado distintos ambientes de operación, de tal forma que, es posible obtener conclusiones respecto a la mejor forma de operar.

En forma esquemática, la simulación presenta las siguientes ventajas.

### **Ventajas**

- El hecho de desarrollar el modelo de un sistema conduce con frecuencia a una mejor comprensión del sistema real.
- En la simulación, el tiempo puede comprimirse; años de experiencia en el sistema real pueden reducirse a segundos o minutos.
- La simulación no interrumpe las actividades en curso del sistema real.
- La simulación es mucho más general que los modelos matemáticos y pueden utilizarse cuando las condiciones no son apropiadas para un análisis matemático típico.
- La simulación puede utilizarse como un juego para la experiencia de capacitación.
- La simulación provee una duplicación mas realista de un sistema que el análisis matemático.
- La simulación puede utilizarse para analizar condiciones pasajeras mientras que las técnicas matemáticas no pueden hacerlo.
- Comercialmente están disponibles muchos modelos de paquetes estándar, que cumplen una amplia gama de tareas.
- La simulación responde a preguntas del tipo “¿Qué ocurriría si .....?”

#### **4.4 Construcción de un modelo de simulación**

El modelo de simulación a realizar debe reflejar fielmente el proceso de transporte de la empresa en estudio. Para la construcción del éste modelo se debe partir con un nivel moderado de detalle para luego ir ampliando este análisis.

Para la construcción de este modelo se debe realizar una descripción de las actividades más relevantes de este proceso, dividiendo éste en cuatro áreas de interés. El modelamiento de la situación problema se realizará mediante del software de simulación Arena 4.0. En el Anexo A de esta memoria se muestran los nodos utilizados en las siguientes actividades que a continuación se detallan.

##### **a) Ingreso de camiones y ordenes de servicio**

El proceso de despacho se inicia con el ingreso de ordenes de servicio y camiones al sistema. La flota existente está segmentada de acuerdo a las características mecánicas de los camiones, ya que no todos los camiones pueden satisfacer todos los servicios siendo una variable importante la ubicación geográfica de los distintos clientes.

Estos camiones se pueden clasificar en tres tipos.

- Camión Tipo 1: Nivel Nacional
- Camión Tipo 2: Nivel Regional (desde VIII hasta IX Región)
- Camión Tipo 3: Nivel Local (Provincia de Concepción)

Los camiones ingresan a la planta de acuerdo a una distribución de probabilidades antes definida, (ver Anexo B), e ingresan directamente a la cola de camiones, quedando disponible y en espera para realizar algún servicio.

Las ordenes de servicio ingresan diariamente a la planta según una distribución de probabilidades antes definida, (ver Anexo B). Al existir 3 tipos de camiones, existen tres tipo de ordenes de servicio (nacional, regional y local).

#### **b) Proceso de despacho**

La tarea específica del despacho consiste en recibir y clasificar, de acuerdo a su grado de prioridad, las llamadas de servicios que realizan los distintos clientes a la empresa. Dichos servicios se verifican o confirman antes de ser despachados, previa coordinación con los demás actores logísticos involucrados. Los camiones son despachados mediante la regla FIFO de despacho, es decir, en el caso de que se confirme una orden de servicio nacional, el sistema procede a buscar y despachar el primer camión Tipo 1 que se encuentre disponible en cola, en el caso de confirmarse una orden de servicio regional, ésta es despachada con el primer camión Tipo 1 o Tipo 2 que se encuentre disponible en cola y en caso de realizar un servicio local, éste es despachado con el primer camión que se encuentre disponible en cola sin importar su tipo ya que todos los camiones pueden realizar estos servicios.

### **c) Trayectoria y tiempos de viajes**

Es importante destacar que en nuestro sistema de transporte, el camión sólo puede transportar un solo contenedor, omitiendo las posibilidades de realizar paradas múltiples o ruteo, por lo tanto las únicas trayectorias que realizan los camiones son las siguientes.

Trayectoria 1: Origen → Planta Cliente (Carga/Descarga) → Origen

Trayectoria 2: Origen → Planta Cliente (Carga/Descarga) → Puerto → Origen

En relación a los tiempos de viaje, se trabaja con velocidades promedio y los tiempos de carga y descarga, tanto en la planta de los clientes como los distintos puerto de la zona se estiman mediante distribuciones de probabilidad.

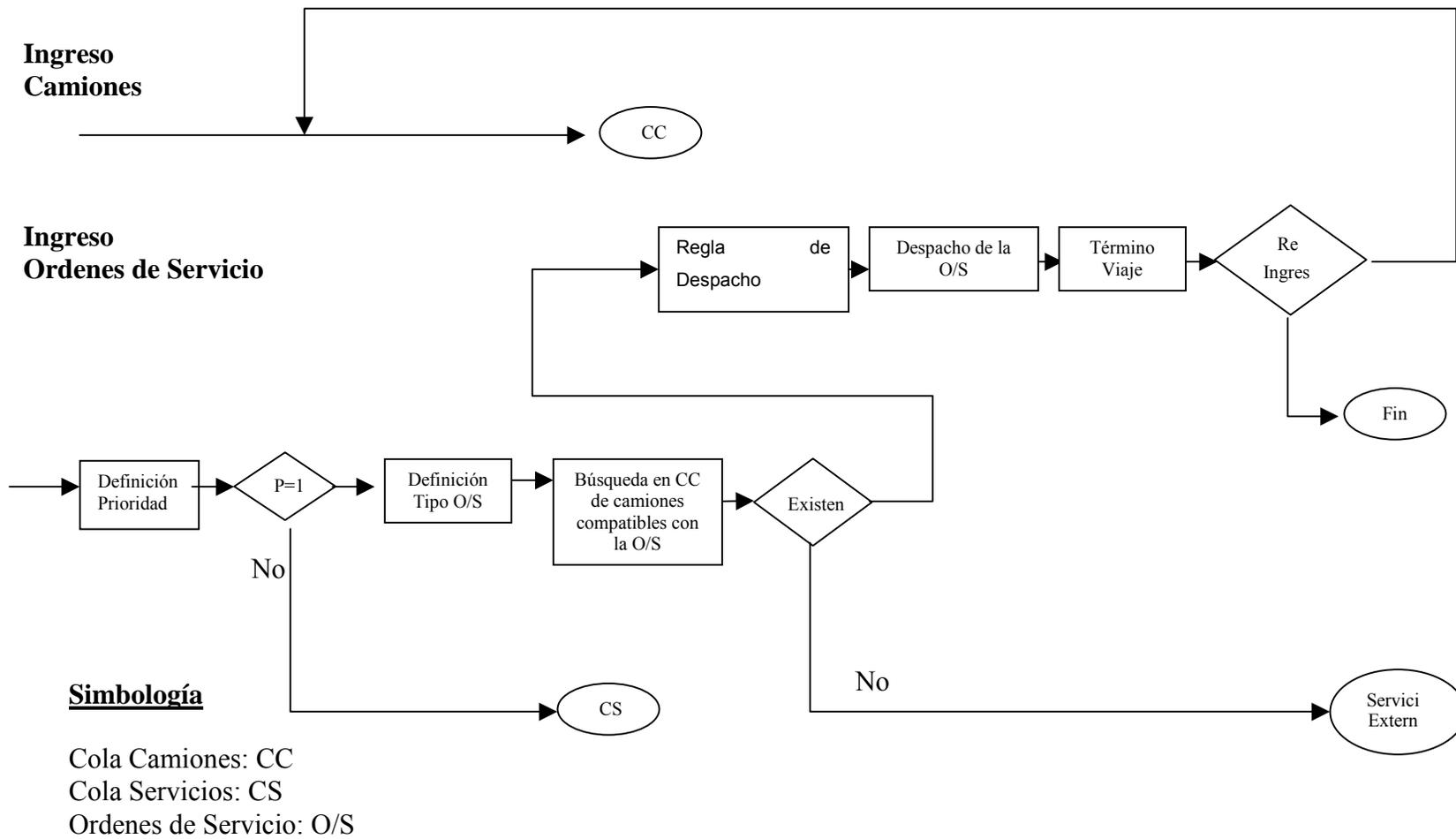
### **d) Re-ingreso de camiones al sistema**

Una vez que los camiones realizan los distintos servicios demandados, estos son re-ingresados al sistema quedando disponibles en la cola de camiones.

Una vez que se definieron las distintas actividades, se realizó una representación lógica del sistema en estudio (Figura 4.1), el cual servirá de base para la realización del modelo para posteriormente definir con mas detalle las distintas especificaciones del modelo.

### Modelo Lógico del Proceso de Despacho

Figura: 4.1



El proceso se inicia con el ingreso de los camiones a la planta, de acuerdo a una distribución de probabilidades antes definida, (ver Anexo B), e ingresan directamente a la cola de camiones (CC), quedando disponible y en espera para realizar algún servicio.

Al ingresar la orden de servicio se verifica su tipo, es decir, si la orden de servicio es nacional, regional o local. Posteriormente se establece su nivel de prioridad, es decir, si la orden de servicio tiene prioridad 1 ésta debe realizarse inmediatamente, despachándose la orden de servicio con el primer camión que se encuentra disponible en la cola y que pueda realizar el servicio demandado. En el caso de no encontrar camiones disponibles, se recurre a proveedores de transporte externo, generándose un sobrecosto para la empresa.

Las ordenes de servicio que no tengan prioridad 1, ingresan directamente a la cola de servicios (CS) en espera de algún camión, éstas ordenes de servicio deben ser despachadas durante el día de operación.

Las ordenes de servicio despachadas poseen un atributo propio del tipo de servicio a realizar, la cual contiene su trayectoria y tiempo de viaje específico. Una vez finalizado el servicio, el camión re-ingresa al sistema a la cola de camiones (CC), quedando disponible y en espera a realizar otro servicio.

En el Anexo A de esta memoria, se muestran las actividades más relevantes modeladas mediante el software de simulación Arena 4.0.

#### **4.5 Evaluación de los resultados**

Los tipos de conclusiones que pueden extraerse de una simulación dependen del grado en el cual el modelo refleje el sistema real, para lo cual es necesario validar nuestro modelo de simulación.

#### **4.6 Validación del Modelo**

Este proceso consiste en asegurar que el modelo implementado en Arena 4.0 corresponda al modelo lógico diseñado. La importancia de este paso radica en la comprobación de que el modelo confiablemente representa la realidad y, por lo tanto, las inferencias que se hagan de los resultados sean correctas.

Primero se valida el modelo en términos estadísticos, para lo cual se comparan los resultados de 20 replicas pilotos. La duración de cada replica debe escogerse de tal modo que asegure un alto nivel de certeza que todos los eventos posibles de ocurrir en el sistema efectivamente se produzcan. Considerando lo anterior se fijó una duración de un mes de operación.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

**Tabla 4.1 Resultados para las 20 replicas**

<b>Réplica</b>	<b>Ord. Despachadas</b>	<b>Serv. Realizados</b>	<b>Serv. Externos</b>
1	2296	1870	382
2	2140	1820	272
3	2263	1839	385
4	2273	1852	391
5	2376	1984	351
6	2398	1954	401
7	2272	1889	355
8	2464	1949	465
9	2484	1919	505
10	2190	1893	275
11	2288	1821	431
12	2340	1928	378
13	2371	1990	341
14	2277	1904	352
15	2304	1895	380
16	2325	1876	399
17	2371	1903	424
18	2362	1907	412
19	2388	1861	485
20	2390	1912	434

#### 4.6.1 Determinación del número de replicas

Una replica se define como una corrida computacional del modelo con valores de los parámetros definidos y una sola semilla para la corriente de números aleatorios específica. Representa en sí, una muestra estadística.

Suponiendo que las ordenes y servicios promedios se distribuyen según una distribución Normal con media  $\mu$  y desviación estándar  $\sigma$ , y que tanto  $\mu$  como  $\sigma$  son desconocidos, se utilizan los datos de la Tabla 4.1 para encontrar los estimadores de  $X$  y  $S$  para  $\mu$  y  $\sigma$  respectivamente.

Considerando los resultados, se obtienen los siguientes estimadores, según los resultados entregados por Arena 4.0

	<b>Media Muestral</b>	<b>Desviación Estándar Muestral</b>
Ordenes Despachadas	2328.60	83.68
Servicios Realizados	1898.30	47.92
Servicios Externos	390.90	59.56

Tabla 4.2 Medias y desviaciones estándar total

La variable de estudio corresponde a los servicios externos, por lo tanto es sobre esta que se definirá el número de replicas finales del modelo.

Existen procedimientos estadísticos para calcular el número de replicas de un modelo es necesarias para establecer un nivel de confianza asociado con el error entre la media estimada y la verdadera media teórica. El nivel de significancia  $\alpha$  define la probabilidad que el error entre la media estimada y la verdadera media teórica exceda un valor determinado (e: magnitud del error).

Para calcular el número de replicas se utilizó la ecuación de Pritsker (1986), la cual se expresa como:

$$N \geq \left( \frac{t_{\alpha/2} * S_{(n)}}{e} \right)^2$$

donde

**N** : Número de replicas del modelo para un nivel de exactitud dado.

**S (n)** : Desviación estándar muestral.

**e** : Error entre la media estimada y la media real (Halt-Width).

**$t_{\alpha/2, n-1}$**  : Valor crítico asociado a la distribución t-student.

Se procedió a dar 20 corridas piloto para probar la estabilidad del modelo y reemplazando en la ecuación anterior:

Con :  $\alpha = 0.05$ . De tabla Distribución t-student se obtiene :

$$T_{0.0975, 19} = 2.09$$

Reemplazando los valores para 20 replicas se tiene:

$$N \geq \left( \frac{2.09 * 59.56}{40} \right)^2 = 9.68$$

De esta manera, el número de replicas del modelo, más un factor de seguridad, establece que 20 replicas son suficientes.

#### **4.6.2 Comparación de los resultados del modelo con los datos reales del sistema**

Para determinar la validez practica del modelo, se recurre a una comparación entre las estadísticas históricas y las entregadas por las variables de respuestas incorporadas al modelo.

##### **a) Construcción de Intervalos de Confianza**

Antes de comparar los datos entregados por el modelo con los reales, se debe tener un valor estadísticamente confiable, para lo cual se determinan los intervalos de confianza.

Bajo el supuesto que los servicios se rigen por una distribución normal con media y desviación estándar, y en consideración a los datos entregados en la Tabla 4.2, se construyen los intervalos de confianza de la siguiente forma, donde:

$$S = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)}, \text{ desviación estándar muestral}$$

$$\bar{X} = \sum (x_i / n), \text{ media muestral}$$

El intervalo de confianza para la media  $\mu$ , está dado por:

$$(\bar{x} - S * t / \sqrt{n}, \bar{x} + S * t / \sqrt{n})$$

Así, para cada uno de los servicios se obtiene los siguientes intervalos:

Ordenes Despachadas	= 2328.60 ± 39.11	(2289.49 – 2367.71)
Servicios Realizados	= 1898.30 ± 22.40	(1875.90 – 1920.70)
Servicios Externos	= 390.90 ± 27.83	(363.07 – 418.73)

Tabla 4.3 Intervalos de Confianza

En el siguiente cuadro se comparan los datos del modelo con los datos recolectados sistemáticamente durante toda la historia de funcionamiento de la planta, para ello se consideró un mes de operación.

	<b>Datos Históricos</b>	<b>Datos Modelo</b>	<b>Error Observado</b>
Ordenes Despachadas	2325	2328.60	0.15%
Servicios Realizados	1917	1898.30	0.98%
Servicios Externos	408	390.90	4.19%

Tabla 4.4 Cuadro Comparativo



Al ser el valor de  $t_{n-1,1-\alpha/2} = 2.09$ , se cumple que el valor  $t < t_{n-1,1-\alpha/2}$ , por lo tanto no existe evidencia para afirmar que hay diferencias significativas entre los datos históricos y lo obtenido del modelo de simulación.

Con lo expuesto anteriormente se da por validado el modelo y se está en condiciones de pasar a la etapa de diseño de la regla compuesta de despacho.

## **CAPITULO V : DISEÑO DE LA REGLA COMPUESTA DE DESPACHO**

### **5.1 Introducción**

Un problema esencial en la Dirección de Operaciones es la determinación de la secuencia óptima en que se ejecutaran los despachos. Se trata de un problema de optimización combinatoria que obliga a utilizar técnicas heurísticas ante la imposibilidad practica de llevar a cabo búsquedas exhaustivas.

La gran dificultad para resolver el problema determinando una secuencia optima, ha hecho proliferar reglas, más o menos complejas, muchas de ellas heurísticas, que proporcionan soluciones rápidas y fáciles de calcular en situaciones de trabajo reales, Fernández y Vázquez (1994).

### **5.2 Consideraciones**

En un ambiente de línea de flujo, se tiene un conjunto de “n” tareas que deben ser procesadas en un conjunto de “m” maquinas, matemáticamente, el problema consiste en encontrar una permutación de tareas. Ésta permutación de tareas se realiza de acuerdo a un objetivo específico a satisfacer y corresponde a un problema típico de la rama de optimización combinatoria.

Una adecuada programación de tareas permite el funcionamiento de cualquier sistema manteniendo la eficiencia y el control de las operaciones, Pinedo (1995).

La investigación en el campo de secuenciamiento y programación de tareas ha sido muy amplia. Un panorama excelente en el tema, incluyendo resultados de

complejidad computacional, esquemas de optimización exacta y algoritmos de aproximación pueden encontrarse en el trabajo de Lawler *et al* (1993) y Allahverdi *et al* (1999), además, Panwalkar e Iskander (1977) identifican más de 100 reglas de despacho posibles. Mas detalles sobre heurísticas y reglas de despacho, ver en Morton and Pentico (1993), Pinedo (1995), Guéret (1998), Liaw (1998) y Rajendran y Ziegler (2001).

En esta memoria se plantea el problema de asignar a los “ $m$ ” camiones existente en planta, las “ $n$ ” ordenes de servicios generadas durante un día normal de operación, mediante la creación de una regla de despacho compuesta, Pinedo y Chao (1999), es decir, se pretende despachar a los camiones mediante una regla que combine características propias y dinámicas de cada camión con características propias y dinámicas de las ordenes de servicio. Cada una de estas variables que contempla esta regla debe tener asociado distintos pesos o parámetros.

### **5.3 Proceso actual de despacho**

Actualmente, el proceso de despacho de camiones se efectúa en forma manual, es decir, existe un operador responsable (despachador), el cual debe programar las actividades y las llamadas de servicio, basándose en su experiencia.

El criterio utilizado para asignar los trabajos consiste en cumplir con los requerimientos de prioridad del cliente y los camiones son despachados a través

de la regla FIFO de despacho, es decir, el primer camión que llega a la planta es despachado de acuerdo a las características del servicio.

#### **5.4 Diseño de la regla compuesta de despacho**

Una regla de despacho puede ser definida como el mecanismo mediante el cual se determina la prioridad en el despacho de una determinada tarea, en base a cierta información que alimenta a esta regla y que permite asociar la tarea con un recurso determinado. El objetivo de la secuenciación es la asignación eficiente de máquinas y otros recursos, en nuestro caso camiones, a los trabajos u ordenes de servicios generadas, y la determinación del momento en el que cada uno de estos debe despacharse (Shaw *et al.*, 1992).

El despacho de los camiones se realiza a través de la regla FIFO, es decir se despacha el primer camión que se encuentre disponible en la cola. Si bien es cierto que la regla FIFO es muy utilizada en las empresas dada su simplicidad y efectividad para cierto tipo de tareas y procesos, es importante recalcar que luego de conocer la problemática interna de la empresa, partir del supuesto de que todos los camiones existente en la planta son iguales no es algo efectivo producto que existen ciertas variables y atributos que afectan directamente la flota de transporte.

Este estudio pretende entregar una metodología de despacho que permita, asignar los “m” camiones existentes en la planta a las “n” órdenes de servicio generadas y confirmadas durante un día de operación mediante una regla compuesta de despacho que permita asociar las características propias de cada

camión con las características de las ordenes de servicio a realizar con la finalidad de minimizar la sobrecontratación de servicios de transportistas externos.

Debido al comportamiento variable de este sistema, sería interesante modificar las reglas de secuenciación de despacho de manera dinámica, en el momento apropiado, dependiendo de las condiciones del sistema. A priori, se espera que este método sea superior a utilizar una regla de secuenciación de forma constante (FIFO), porque es capaz de identificar el mejor camión disponible en planta, para realizar un determinado servicio. Esta adaptabilidad permite despachar los trabajos con una eficiencia incluso superior a la de la mejor regla de secuenciación (Shaw et al., 1992).

Para modificar de forma dinámica las reglas existen, básicamente, dos tipos. En el primero, la regla se determina, en el momento apropiado, simulando un conjunto de reglas de secuenciación seleccionadas de antemano y eligiendo la mejor (ver por ejemplo, Ishii y Talavage, 1991; Jeong y Kim, 1998; Kim y Kim, 1994; Wu y Wysk, 1989).

En el segundo tipo de sistema de secuenciación, perteneciente al campo de la inteligencia artificial, se emplea un conjunto de simulaciones previas del sistema de fabricación (ejemplos de entrenamiento) para determinar cual es la mejor de las reglas de secuenciación en cada posible estado del sistema de fabricación. Estos casos de entrenamiento se utilizan para entrenar un algoritmo de aprendizaje automático, con el objeto de obtener conocimiento acerca del sistema de

fabricación. Finalmente, este conocimiento se utiliza para tomar decisiones inteligentes en tiempo real.

En nuestro caso trabajaremos con un conjunto de reglas de despacho que al combinarlas forman una regla de despacho compuesta, Pinedo y Chao (1999), es decir, se pretende despachar a los camiones mediante una regla que combine características propias y dinámicas de cada camión con características propias y dinámicas de las ordenes de servicio.

La selección de los atributos que contempla esta regla de despacho no es una tarea fácil ya que existen numerosos factores a considerar. A modo de ejemplificar esta situación, clasificaremos estos atributos en tres grandes áreas: confiabilidad del servicio, valoración de los vehículos y nivel de profesionalismo de los choferes.

La confiabilidad del servicio está directamente relacionado con la seguridad del envío a la hora de satisfacer un determinado servicio. Los atributos relevantes a considerar en este punto son: el conocimiento que tenga el chofer de la ruta a realizar así como su nivel de profesionalismo pericia y experiencia, su carga de trabajo, contar con medios de comunicación necesarios y tener la capacidad de resolver problemas que se presenten en la ruta como por ejemplo accidentes o desperfectos mecánicos, constituyen atributos relevantes a la hora de seleccionar un determinado transporte.

En la valorización de los vehículos se debe considerar el estado de conservación del vehículo, su potencia, modelo y año de fabricación y su nivel de equipamiento, el cual debe considerar los implementos de seguridad del chofer y del vehículo propiamente tal.

Para definir el nivel de profesionalismo de los choferes se pueden considerar los siguientes factores: hora de presentación de los chóferes en la planta, su disponibilidad para realizar un determinado servicio, número de reclamos o faltas cometidas, presentación personal, pericia y experiencia del rubro, etc.

En general, en la medida que se cuantifiquen estos atributos, estos pueden operar perfectamente como una regla de despacho. En este trabajo se propone una regla compuesta de despacho que considere y combine aquellos atributos más relevantes que permitan asignar a una orden de servicio un camión determinado con la finalidad de minimizar la sobrecontratación de servicio de transportistas externos a la empresa.

Los atributos de mayor relevancia considerados por el autor, son los siguiente: el año del camión, la carga de trabajo del chofer y el conocimiento que éste tenga de la ruta a realizar. Esto no quiere decir que no existan otro atributos a considerar como por ejemplo se puede incluir un factor de penalización producto de incumplimientos, infracciones de tránsito o reclamos, etc.

Para resolver el problema antes planteado, el autor plantea la creación de la siguiente regla compuesta de despacho.

$$I_{ij\min} = \left( \frac{\alpha_1 * CT_i}{\alpha_2 * AC_i + \alpha_3 * CR_{ij}} \right)$$

**Donde:**

- $CT_i$  = Carga de Trabajo del Chofer.
- $AC_i$  = Año del Camión.
- $CR_{ij}$  = Conocimiento de la Ruta del Chofer el cual depende del servicio a realizar.

La lógica de esta regla plantea que un determinado servicio lo debe realizar aquel transportista que tenga una menor carga de trabajo, que conozca la ruta y que su camión esté en buen estado, es decir, cuando se confirma una orden de servicio ésta es despachada con aquel camión que tenga el menor índice. Lo interesante de esta regla es que combina atributos dinámicos como la carga de trabajo y el conocimiento de la ruta con un atributo fijo como el año del camión.

Ahora bien, los valores de  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$  de la regla propuesta no reflejan proporcionalmente la importancia relativa de las variables que contiene esta regla de despacho, sino que son solo parámetros que al variarse localizan puntos diferentes en el conjunto de soluciones posibles, Ronald (1998).

Las búsqueda de los valores de los parámetros se realizará través de optimización en simulación y se enmarca en la clase de problemas de tipo combinatorios. Para la optimización de dichos parámetros, se evaluará la técnica de búsqueda estocástica con Simulated Annealing.

## CAPITULO VI : OPTIMIZACIÓN EN SIMULACIÓN

### 6.1 Introducción

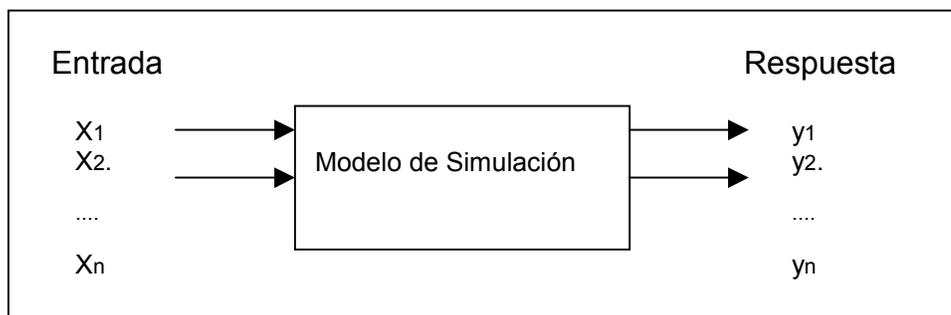
Este capítulo tiene por propósito dar luces acerca de la optimización en simulación, sus aplicaciones y métodos. Se pretende a la vez determinar los valores de los parámetros de la regla compuesta de despacho de camiones antes definida. La optimización de dichos parámetros se llevará a cabo mediante la estrategia de búsqueda estocástica con Simulated Annealing.

### 6.2 Definición y aplicaciones

La optimización en simulación se puede definir como la combinación de un método de optimización con un modelo de simulación para determinar los ajustes de las variables de entrada que maximizan el funcionamiento del sistema simulado.

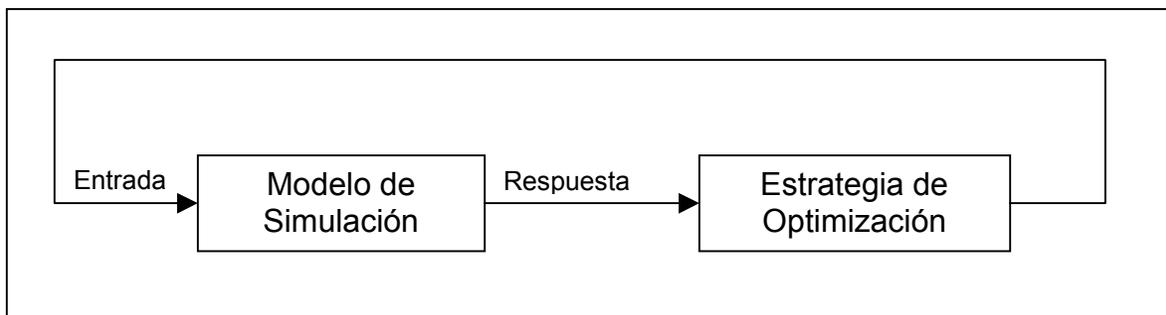
Un modelo de simulación contempla el ingreso de “n” variables de entrada, las cuales son las que alimentan al modelo ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ), permitiendo obtener “m” variables de salida o respuestas ( $y_1, y_2, \dots, y_n$ ). En la Figura 6.1 se establece esta relación.

**Figura 6.1: Modelo de Simulación**



La optimización en simulación requiere que exista una retroalimentación entre el modelo de simulación y la estrategia de optimización, en este caso la respuesta de salida del modelo se utiliza como entrada para la estrategia de simulación. Este procedimiento se repite hasta encontrar una solución óptima o un criterio de convergencia. En la Figura 6.2 se plantea esta relación.

**Figura 6.2: Modelo de Optimización en Simulación**



La optimización en simulación ha sido bastante utilizada en distintos problemas de la vida diaria, por ejemplo, Pierreval (1997); Sammons y Cochran (1996); Azadivar y Shu (1998); muestran diferentes aplicaciones para problemas en empresas de remanufactura. Azadivar y Shu (1998); utiliza optimización en simulación para la selección y puesta en práctica de políticas de mantenimiento. Gere (1996); Eilon (1975); Gonzalez y Sahni (1978); Yang y Sum (1994) y Al-Turki y Andijani (1996) utilizan la optimización en simulación para comparar reglas de despacho estocásticas y dinámicas. En estos últimos años, numerosos han sido los trabajos publicados de optimización en simulación utilizando metaheurísticas, Barton y Ivey (1996); Chen, Chen y Yucesan (2000); Fu and Hu (1997); Sreenivas y Vakili (1992); Pflug (1996); Shi y Ólafsson (1998); Spall (1992); Yan y Mukai

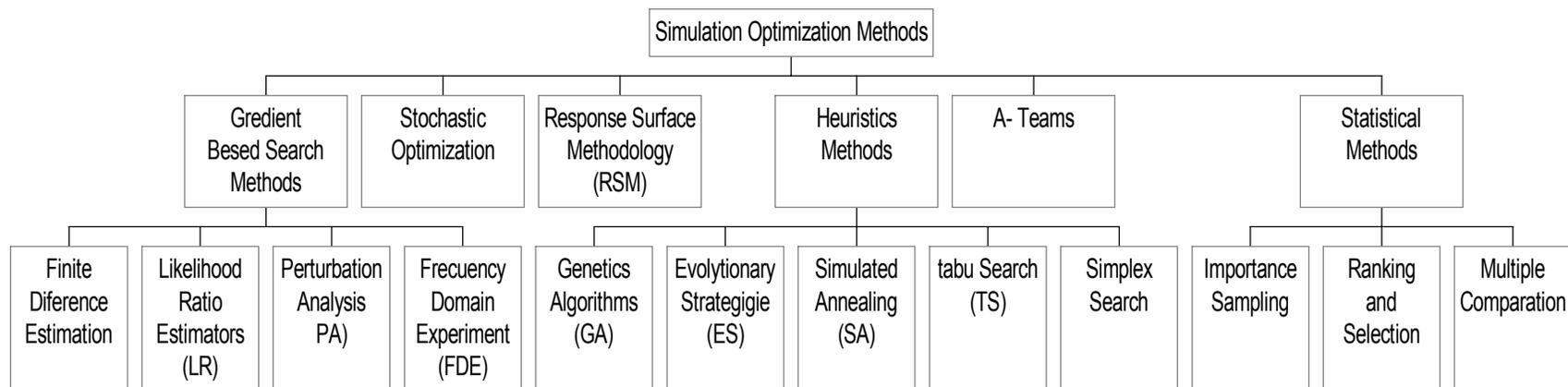
(1992). Both Lee y Lawate (1991) y Manz *et al.* (1989) presenta una aplicación de optimización en simulación usando Simulated Annealing.

### **6.3 Estrategias de optimización en simulación**

Diversas estrategias de optimización han sido utilizadas en problemas de optimización en simulación. Dentro de las técnicas más importantes usadas en problemas de optimización en simulación, ver publicaciones de Safizadeh (1990); Azadivar (1992); Fu (1994); Carson y Maria (1997) y Andradóttir (1998a, 1998b). Morito *et al.* (1993) utiliza una combinación entre el método de búsqueda estocástica Simulated Annealing y simulación para buscar la apropiada secuencia de despacho que permita minimizar las tardanzas en un sistema flexible de manufactura (FMS, sus siglas en inglés).

En la Figura 6.3, se muestran los diferentes métodos de optimización en simulación.

**Figura 6.3: Métodos de Optimización en Simulación**



#### 6.4 Características del entorno

La búsqueda de los valores de los parámetros de la regla compuesta de despacho de camiones antes definida se enmarca en la clase de problemas de optimización combinatoria. Un problema de optimización es aquel cuya solución implica encontrar, en un conjunto de soluciones candidatas, aquella que mejor satisfaga los objetivos propuestos.

Cada problema de optimización se especifica estableciendo cuales son las soluciones alternativas y los objetivos perseguidos. Los objetivos se formalizan por una o varias funciones que hay que maximizar o minimizar. Formalmente, el problema se compone del espacio de soluciones  $S$  y la función objetivo  $f$ .

Resolver el problema de optimización  $(S, f)$  consiste en determinar una solución óptima, es decir, una solución factible  $x^* \in S$  tal que  $f(x^*) \leq f(x)$ , para cualquier  $x \in S$

Las soluciones alternativas se pueden expresar por la asignación de valores a algún conjunto finito de variables  $X = \{X_i : i = 1, 2, \dots, n\}$ . Si por  $U_i$  se denota al dominio o universo (conjunto de valores posibles) de cada una de las  $n$  variables, el problema consiste en seleccionar el valor  $x_i$  asignado a cada variable  $X_i$  del dominio  $U_i$  que, sometido a ciertas restricciones, optimiza la función objetivo  $f$ . El universo de soluciones se identifica con el conjunto  $U = \{x = (x_i : i = 1, 2, \dots, n) : x_i \in U_i\}$ . Las restricciones del problema reducen el universo de soluciones a un subconjunto de soluciones  $S \subseteq U$ , denominado espacio factible.

En este caso se utilizará la búsqueda estocástica con Simulated Annealing para la determinación de los parámetros de la regla de despacho propuesta.

## 6.5 Simulated Annealing (SA)

El algoritmo de Simulated Annealing (SA), Kirkpatrick *et al.*, (1983) está basado en la analogía del proceso de fundir un material sólido y posteriormente enfriarlo lentamente hasta su congelación (proceso de recocido de sólido). Si el material o sistema termodinámico alcanza el equilibrio térmico a cada una de las diferentes temperaturas del proceso, sus átomos se congelarán en una configuración o arreglo altamente estructurado cuya energía es mínima. Sanvicente (1997), presenta una descripción detallada de la analogía y del fundamento del método a través de la termodinámica estadística

### 6.5.1 Proceso de Simulated Annealing

Los algoritmos tradicionales de búsqueda local parten de una solución inicial que de modo paulatino es transformada en otras que a su vez son mejoradas al introducirles pequeñas perturbaciones o cambios. Si este cambio da lugar a una solución mejor que la actual, se sustituye ésta por la nueva, continuando el proceso hasta que no es posible ninguna mejora nueva. Esto significa que la búsqueda finaliza en un óptimo local, que no tiene por qué ser forzosamente el global.

Un modo de evitar esto es permitir que algunos movimientos sean hacia soluciones peores. Pero si la búsqueda está realmente yendo hacia una buena solución, estos movimientos de escape deben realizarse de un modo controlado. En el caso de SA, esto se realiza controlando la frecuencia de los movimientos de escape mediante una función de probabilidad que hará disminuir la probabilidad de esos movimientos hacia soluciones peores conforme avanza la búsqueda.

La fundamentación de este control se basa en el trabajo de Metrópolis *et al.* (1953) en el campo de la termodinámica estadística. Básicamente Metrópolis modeló el proceso de recocido simulando los cambios energéticos en un sistema de partículas conforme decrece la temperatura, hasta que converge en un estado estable (congelado). Las leyes de la termodinámica dicen que a una temperatura  $t$  la probabilidad de un incremento energético de magnitud  $\delta E$  se puede aproximar por:

$$P(\delta E) = \exp(-\delta E / kt)$$

siendo  $k$  una constante física denominada de Boltzmann. En los problemas de optimización, esta constante carece de significado y se le da convencionalmente el valor 1.

### 6.5.2 Algoritmo SA

**Simulated annealing for a minimization problem with solution space  $S$ , objective function  $f$  and neighbourhood structure  $N$**

---

```

Select an initial solution  $s_0$ ;
Select an initial temperature  $t_0 > 0$ ;
Select a temperature reduction function  $\alpha$ ;
Repeat
  Repeat
    Randomly select  $s \in N(s_0)$ ;
     $\delta = f(s) - f(s_0)$ ;
    If  $\delta < 0$ 
      then  $s_0 = s$ 
    else
      generate random  $x$  uniformly in the range  $(0, 1)$ ;
      if  $x < \exp(-\delta/t)$  then  $s_0 = s$ ;
  Until  $iteration\_count = nrep$ 
  Set  $t = \alpha(t)$ ;
Until stopping condition = true.
 $s_0$  is the approximation to the optimal solution.

```

---

En este caso, la función de costo  $\delta$  corresponde a un valor determinístico, por lo tanto esta función de costo no es representativa de nuestro problema, debido a que ésta debe representar la naturaleza estocástica de nuestro problema.

Ahora bien, el hecho de utilizar optimización en simulación para la determinación de los parámetros de la regla propuesta implica redefinir la función de costo de este algoritmo ya que ésta debe reflejar la naturaleza estocástica de nuestro problema, por lo tanto se debe realizar un análisis de comparación de medias entre los dos modelos de simulación generados, Law y Kelton (1991). Nuestro nuevo algoritmo queda representada de la siguiente manera.

**Simulated annealing for a minimization problem with solution space  $S$ , objective function  $f$  and neighbourhood structure  $N$**

---

Select an initial solution  $s_0$ ;  
 Select an initial temperature  $t_0 > 0$ ;  
 Select a temperature reduction function  $\alpha$ ;  
 Repeat  
     Repeat  
         Randomly select  $s \in N(s_0)$ ;  
          $M(C(j)) - m(C(i)) = \delta$   
         If Compare  $((m(C(j)), sd(C(j))); m(C(i)), sd(C(i)))$  then  $i:=j$   
         Else If  $\text{random}(0,1) < e^{(-\delta / T)}$  then  $i:=j$   
     Until  $\text{iteration\_count} = \text{nrep}$   
     Set  $t = \alpha(t)$ ;  
 Until stopping condition = true.  
 $s_0$  is the approximation to the optimal solution.

---

Este algoritmo no debe ser visto como una técnica completamente estandarizada, lista para ser aplicada de forma directa e invariable a no importa que problema, sino que, debido al gran número de parámetros configurables que incluye, deberá ser adecuadamente implementada en cada situación concreta en la que vaya a ser utilizado. Será por lo tanto necesario precisar aspectos como los siguientes.

- La secuencia de enfriamiento. Serán las temperaturas inicial ( $t_0$ ) y final ( $t_f$ ), la primera lógicamente más elevada que la segunda, y las sucesivas temperaturas recorridas para llegar de una a otra. Una temperatura inicial elevada facilita la exploración del espacio de configuraciones pues hace que casi todos los saltos de una configuración a otra estén permitidos. Idealmente la temperatura final tras el proceso de enfriamiento parece que debería ser cero, sin embargo no será necesario llegar a ese extremo, pues cuando la temperatura se haga lo suficientemente baja la probabilidad de salto a una configuración peor será virtualmente nula, con lo que el proceso quedará atrapado en el mejor óptimo local conseguido hasta el momento y ya no se producirá apenas ninguna mejora en el resultado alcanzado. Por otra parte, se debe definir la tasa de enfriamiento de temperatura para éste proceso. Para lograr un equilibrio adecuado entre todos estos aspectos no cabe, en general, otra solución que recurrir al ensayo y error.
- La topología del espacio de soluciones. En cada problema concreto habrá que determinar cuales son las variables que describen adecuadamente el espacio de soluciones (N), lo cual puede no ser evidente a priori, y

establecer la manera de ir saltando aleatoriamente de una configuración a otra de su entorno. Puede ser conveniente trabajar tanto con entornos amplios como reducidos; ello dependerá de cada problema concreto.

- La configuración de partida ( $S_0$ ). Ésta puede ser una arbitraria u obtenida como resultado de un algoritmo previo que proporcione de manera sencilla alguna solución de bajo costo o energía.

Para poder implementar éste algoritmo en un problema concreto, es preciso tomar una serie de decisiones las cuales seran divididas en decisiones genéricas y específicas. Las genéricas se refieren principalmente a como controlar la temperatura (incluyendo la definición de su valor inicial  $t_0$  y la función de decrecimiento  $\alpha$ ), el número de iteraciones  $n_{rep}$  antes del decrecimiento de la temperatura, y las condiciones que nos permitirán considerar que el sistema está ya “frío”. Las decisiones específicas comprenden la definición del espacio de soluciones y la estructura de entorno, la función de costo y cómo se obtendrá la solución inicial  $S_0$

### **6.5.3 Definición de Parámetros de SA**

#### **Decisiones Genéricas**

##### **a) Valor de la temperatura inicial**

Se fija un radio de aceptación tal que cuando SA está en sus primeras iteraciones, la probabilidad de aceptación sea lo más cercana a 1.

Entonces, se calcula la temperatura inicial considerando sólo aquellas configuraciones que fueron aceptadas porque el valor de su función objetivo era mayor que la actual, es decir tenían una energía mayor. Entonces, se mantiene un promedio de estas diferencias de energías positivas de  $n$  iteraciones iniciales del algoritmo, y la temperatura inicial es calculada mediante:

$$T_0 = \frac{\Delta \bar{C}}{-Ln(P_0)}$$

Para el caso particular en estudio, se estimó que el delta costo era de 20 servicios externos y se consideró una probabilidad de aceptación de un 80%, por lo tanto se estableció que para este problema en particular la temperatura Inicial era de 90.

#### **b) Razón de cambio de temperatura y numero de repeticiones**

El sistema debe alcanzar un cuasi equilibrio, por lo tanto se necesita fijar un nuevo parámetro denominado Época. Se mantiene un contador del numero de veces en que las transiciones son aceptadas, y es comparado con este parámetro época que mantiene un número fijo, llamémosle  $A$ , que dice que la temperatura cambia (decrece) sólo si se aceptaron  $A$  transiciones. Para cada nivel de temperatura se deben determinar el numero de repeticiones ( $nrep$ ) a llevar a cabo, en este caso  $nrep$  es 20. Cuando se alcanza este limite, el costo de la época será el valor de la energía en que estaba evaluada la última configuración aceptada y se procede a enfriar la temperatura mediante la tasa de enfriamiento de tipo geométrico con un  $\alpha = 0.9$

$$T_k = \alpha * T_k$$

### **c) Condición de parada**

La condición de parada se cumple cuando se alcanza la temperatura final o cuando la evaluación con respecto a la función objetivo no cambia por una nueva.

## **Decisiones Especificas**

### **a) Espacio de soluciones**

Nótese que en cada iteración se llama siempre a dos funciones, la primera de las cuales es la generación de la solución inicial  $N(S_0)$  generada en el espacio de soluciones y entorno y la segunda función llamada en cada iteración es el calculo del cambio de la función de costo. En nuestro caso particular no hay restricciones en cuanto al valor que pueden tomar los valores de los parámetro de la regla.

### **b) Estructura de entornos**

Alguna de las primeras teorías sobre SA se basaban en entornos uniformes y simétricos, es decir, todos los entornos eran dl mismo tamaño, sin embargo, hoy se sabe que es suficiente con exigir el cumplimiento de una condición mas suave que exige que cualquier solución pueda alcanzarse desde cualquier otra a través de una cadena de movimientos validos, usando los entornos.

### **c) Función de costo**

La función de costo está directamente relacionada con el objetivo principal de esta memoria la cual es la minimización de la sobrecontratación de servicios de transportistas externos a la empresa mediante la creación de una regla compuesta de despacho cuyos parámetros serán obtenidos mediante optimización en simulación, por lo tanto, en la función de costo se debe realizar una comparación de medias de los servicios externos generados durante un mes de operación entre la combinación de parámetros obtenidas de la solución inicial ( $S_0$ ), versus la combinación de parámetros generada de manera aleatoria en el espacio de soluciones.

### **d) Solución inicial ( $S_0$ )**

Está generalmente aceptado que la solución inicial  $S_0$  debe ser generada de modo aleatorio o también como resultado de un algoritmo previo que proporcione de manera sencilla alguna solución de bajo costo o energía.

Para nuestro caso se analizaron dos puntos de partida, es decir, dos soluciones iniciales para los valores  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$  de la regla de despacho propuesta. Se parte con una solución inicial aleatoria y otra determinada el método de Análisis de Procesos Jerárquicos (AHP).

El método AHP tiene una sólida fundamentación teórica, basada en teoría de grafos. Una ventaja de utilizar este método es que, el método detecta y acepta,

dentro de ciertos límites la incoherencia de los decisores humanos, y además permite emplear de forma natural una jerarquización de los criterios, cosa que no pueden hacer los métodos que exigen comparaciones globales de las alternativas, Vargas (1989).

Este método fue propuesto por Saaty (1977), y en su aspecto más básico propone asignar un vector de pesos  $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]$  a los criterios de un cierto problema de decisión multicriterio, en nuestro caso determinar los valores de  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$ . Para ello se parte comparando cada criterio  $i$  con cada criterio  $j$ , obteniendo unos valores  $a_{ij}$  los cuales se agrupan en una matriz cuadrada de orden  $n$ : la llamada matriz de comparaciones binarias  $A = [a_{ij}]$ . La razón de comparar de dos en dos los criterios, es porque para el decisor es más fácil que compararlos todos a la vez.

Saaty (1980, 1997), ensaya cierto número de escalas de medida y justifica la siguiente escala para la estimación de los coeficientes  $a_{ij}$ .

$a_{ij}$ adquiere los siguientes valores	Cuando el criterio $i$ , al compararlo con el $j$ es
1	Igualmente importante
3	Ligeramente más importante
5	Notablemente más importante
7	Demostablemente más importante
9	Absolutamente más importante

Si no fuese el criterio  $i$  más importante que el  $j$  sino al revés, se estima  $a_{ji}$  de acuerdo con lo anterior y se hace  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ .

Una vez realizada la matriz de pesos y a través del software Expert Choice ha sido posible determinar los valores para  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$  como solución inicial para la optimización de estos utilizando SA, a su vez, también se determinó la solución inicial encontrada de manera aleatoria.

A continuación se muestran las dos soluciones iniciales utilizadas en este estudio.

<i>AHP</i>	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	<i>Ci</i>
S0	0.117	0.200	0.683	381

<i>Aleatoria</i>	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	<i>Ci</i>
S0	0.226	0.401	0.974	398

#### **6.5.4 Procedimiento de búsqueda de parámetros**

Para buscar los parámetros de la regla compuesta de despacho se parte con una solución inicial  $S_0$ , en este caso se analizará el caso partiendo con la solución inicial obtenida de manera aleatoria; se evalúa dicha configuración de parámetros en el modelo de simulación obteniéndose una estimación promedio de los servicios externos ( $C_j = 398$ )

Para generar una nueva solución,  $j$  en  $N(i)$  se debe hacer variar uno de los pesos de los parámetros de la regla despacho antes descrita de manera aleatoria, a partir de la solución inicial. El radio de vecindad es aleatorio y varia entre  $\pm 0.1$ . A partir de este punto se genera una nueva combinación de parámetros los cuales se introducen al modelo de simulación obteniendo una nueva estimación de servicios externos, posteriormente se debe realizar una comparación de medias entre la solución inicial del modelo, versus la nueva estimación obtenida con la nueva solución. Si existe evidencia significativa entre estos dos modelos y además la nueva solución encontrada permite un ahorro en costo, se toma esta nueva solución como solución incumbente la cual es la mejor solución encontrada; en el caso de que la nueva solución signifique un incremento en costo, esta nueva solución puede ser considerada dependiendo de una cierta probabilidad de aceptación. Este proceso continua hasta que se cumple la condición de parada del algoritmo.

### 6.5.5 Análisis de resultados

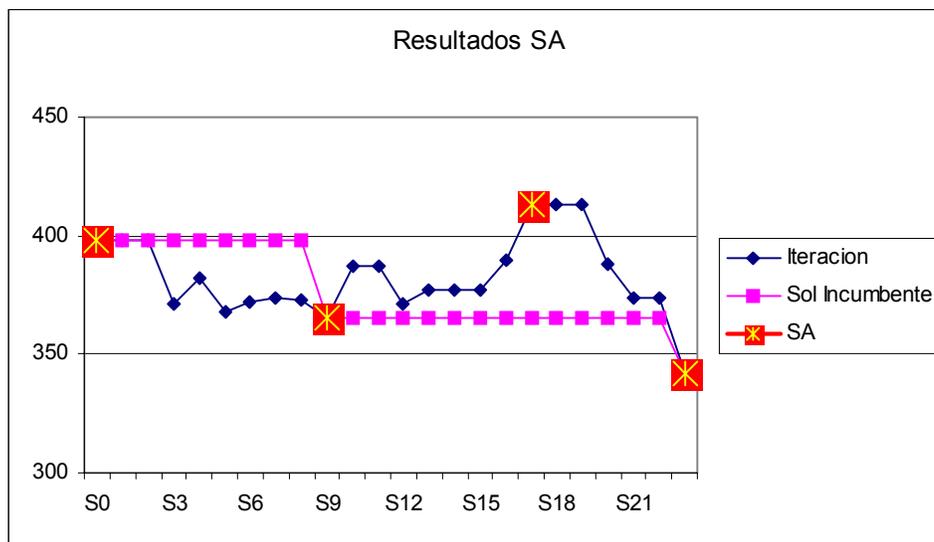
La Tabla 6.1, muestra un resumen del efecto generado en la cantidad de servicios externos la variación de los parámetros de la regla de despacho propuesta partiendo con una solución inicial de determinada de manera aleatoria. Claramente podemos observar en la iteración S<sub>6</sub> que para esa combinación de parámetros existe una disminución significativa referente a la cantidad de servicios externos, objetivo que persigue esta memoria ya que se disminuye de 398 a 365 servicios externos por mes.

Es importante destacar que partiendo con una solución inicial mediante el método AHP, no se obtienen disminuciones significativas con relación a la cantidad de servicios externos.

**Tabla 6.1**

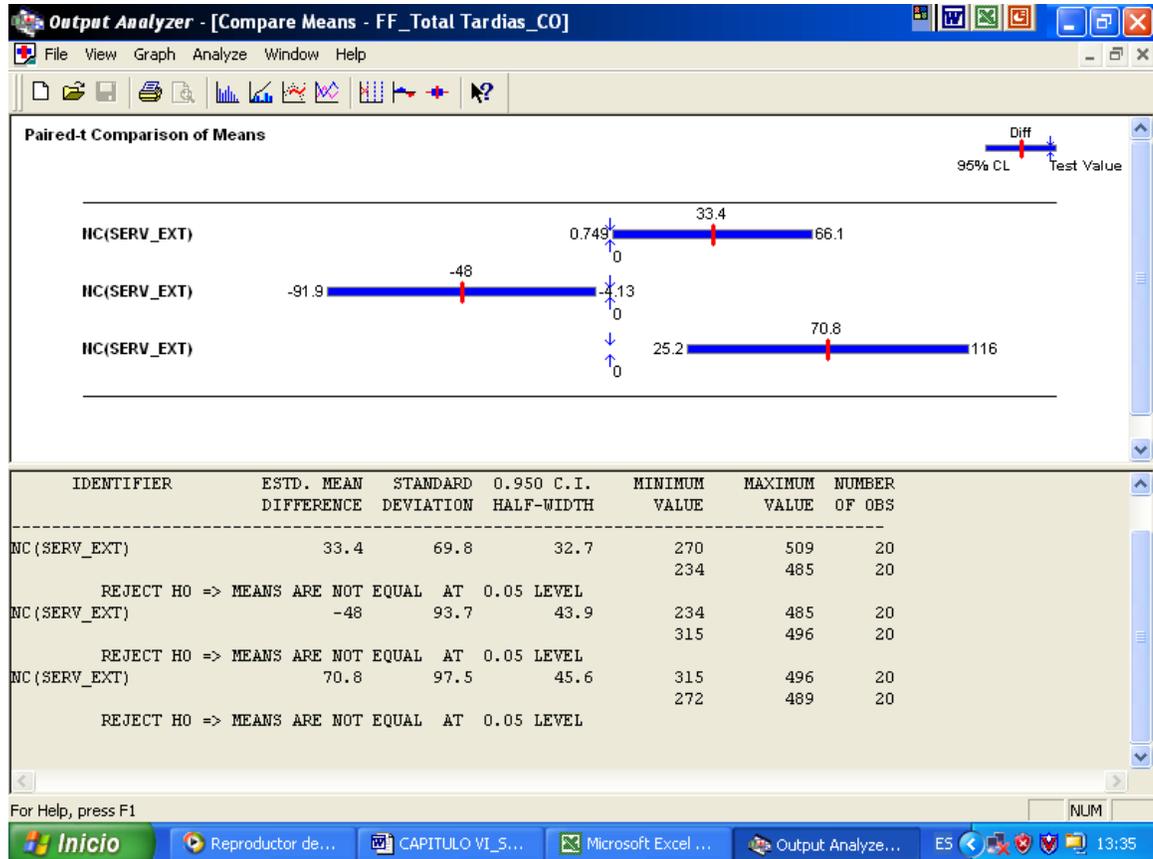
Si	CT	AC	CR	Cj	Ci	Sol. Incum	$\delta$	Dif_Sig	condicion	T°	Prob.	N_Alea	Se acepta	Ci
<b>S0</b>	<b>0.226</b>	<b>0.401</b>	<b>0.974</b>	<b>0</b>	<b>398</b>	<b>398</b>								
S1	0.726	0.401	0.974	<b>398</b>	398	398	0	No	Siguiente	90	*	*	*	*
S2	1.026	0.801	0.974	371	398	398	-27	No	Siguiente	90	*	*	*	*
S3	1.026	0.801	1.474	365	398	398	-33	No	Siguiente	90	*	*	*	*
S4	1.026	1.101	1.474	382	398	398	-16	No	Siguiente	90	*	*	*	*
S5	1.026	1.601	1.474	373	398	398	-25	No	Siguiente	90	*	*	*	*
<b>S6</b>	<b>1.026</b>	<b>1.601</b>	<b>1.974</b>	<b>365</b>	<b>398</b>	<b>365</b>	<b>-33</b>	<b>Si</b>	<b>Aceptar</b>	<b>90</b>	*	*	*	*
S7	1.026	1.501	1.974	387	365	365	-22	No	Siguiente	81	*	*	*	*
S8	1.226	1.501	1.974	387	365	365	22	No	Siguiente	81	*	*	*	*
S9	1.226	1.501	1.674	371	365	365	6	No	Siguiente	81	*	*	*	*
S10	1.226	1.501	1.174	377	365	365	12	No	Siguiente	81	*	*	*	*
S11	1.926	1.501	0.974	390	365	365	25	No	Siguiente	81	*	*	*	*
<b>S12</b>	<b>1.926</b>	<b>1.701</b>	<b>0.974</b>	<b>413</b>	<b>365</b>	<b>365</b>	<b>48</b>	<b>Si</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>81</b>	<b>0.5528</b>	<b>0.3414</b>	<b>Si</b>	<b>413</b>
S13	1.726	1.701	0.974	413	413	365	0	No	Siguiente	73	*	*	*	*
S14	1.326	1.701	0.974	374	413	365	-39	No	Siguiente	73	*	*	*	*
<b>S15</b>	<b>0.926</b>	<b>1.301</b>	<b>1.474</b>	<b>342</b>	<b>413</b>	<b>342</b>	<b>-71</b>	<b>Si</b>	<b>Aceptar</b>	<b>73</b>	*	*	*	*

La siguiente grafica permite observar el efecto generado en la cantidad de servicios externos la optimización de los parámetros  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$  de la regla de despacho propuesta. Finalmente, se establece que la nueva regla propuesta es más eficiente que la regla FIFO utilizada por la empresa ya que permite minimizar la sobrecontratación de servicios externos en un 12.5% al mes al encontrar una combinación de parámetros que permite disminuir de 398 a 342 servicios externos por mes.



Dada las características del problema de optimización en simulación, la función de costo del algoritmo SA planteaba un análisis de comparación de medias para cada una de las combinaciones generadas. Para este caso se encontraron tres combinaciones que satisfacían los requerimientos del algoritmo. Es importante destacar que en el punto tres, la función de costo es peor en relación a la solución incumbente, pero de todas formas se acepta dicho punto

mediante la distribución de probabilidades del algoritmo SA. La comparación de medias se realizó a través Output Analyzer, herramienta contenida en el software Arena 4.0



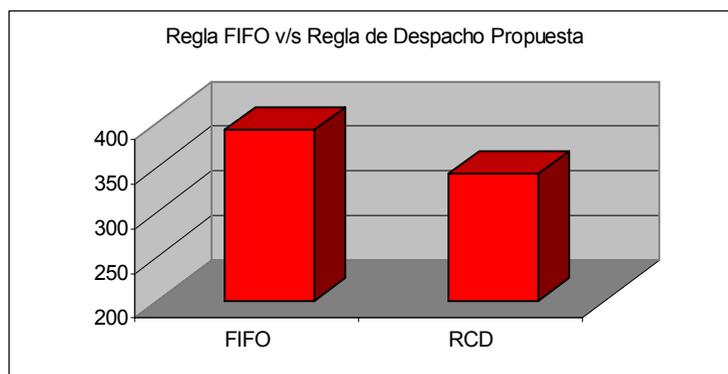
### 6.5.6 Impacto Económico del Modelo.

Un aspecto de trascendencia en la construcción y diseño de la regla de despacho es el impacto económico de éste ligado específicamente en lo

concerniente a los costos operacionales de transporte alcanzados de acuerdo a la metodología propuesta.

A través de la metodología propuesta se pudo cuantificar el impacto de la regla de despacho propuesta frente a los servicios de transportistas externos a la empresa durante un mes de operación, permitiendo comparar la nueva regla de despacho v/s la regla FIFO de despacho que utiliza la empresa para despachar a sus camiones.

**Comparación servicios externos entre regla de despacho FIFO y la regla de despacho propuesta**



Como podemos apreciar se genera una disminución de los costos operacionales derivados del transporte mediante la creación de una nueva regla de despacho, la cual ha disminuido los servicios externos a la empresa en un 12.5% cada mes, cumpliendo los objetivos planteados en esta memoria.

## **CAPITULO VII : Comentarios y recomendaciones**

Un problema importante de logística que encara cualquier empresa es la distribución de sus productos. Específicamente la programación y secuenciamiento de despacho de vehículos está directamente ligado con el tiempo requerido para que el cliente reciba sus productos demandados en el tiempo requerido por el. El manejo eficiente de la flota de transporte adquiere gran importancia en relación a los costos involucrados en esta actividad, por lo tanto, generar métodos y estrategias que ayuden a la resolución de problemas complejos constituyen una tarea ineludible para la Ingeniería Industrial.

El transporte es esencial porque ninguna empresa moderna puede operar sin el movimiento de sus materia primas o de sus productos terminados, y en este caso en particular, el transporte es el último proceso que realiza la empresa en estudio y es la más importante, ya que es a través de este servicio que el cliente mide la calidad de todo el servicio que ofrece la empresa.

Dentro de la problemática del transporte, el procesamiento y despacho de servicios es clave e importante para la empresa ya que está directamente ligado al tiempo total que se requiere para que un cliente reciba los bienes o servicios demandados, es la actividad que desencadena el movimiento de los bienes. El problema de secuenciamiento de despacho ha recibido gran atención dada su importancia en aplicaciones industriales y consecuentemente surge la necesidad de contar con algoritmos y modelos eficientes que provean de soluciones de

utilidad práctica. Así, el adecuado uso de modelos de optimización estocástica y de simulación, aplicadas a las actividades de transporte y específicamente a las tareas de despacho constituyen un aspecto crucial para satisfacer las necesidades y requerimientos logísticos de los distintos clientes de manera rápida, segura, confiable y eficiente.

Si hasta hace poco la relación eficiencia-eficacia conseguida al analizar un sistema real complejo mediante modelos de simulación no era de todo satisfactoria, no se puede decir lo mismo en este siglo. Las mejoras en el hardware y en software de simulación han permitido no sólo que la modelización sea más precisa y se realice en menos tiempo, sino que se pueda realizar un análisis en profundidad de las alternativas a evaluar.

Antiguamente, el objetivo fundamental de la simulación de sistemas logísticos ha sido la modelización del sistema productivo de la empresa. Sólo con conseguir un fiel reflejo de la realidad bastaba a las empresas que utilizaban esta herramienta para, intuitivamente, tomar mejores decisiones. En el ámbito académico se empezó a vislumbrar la posibilidad de tomar decisiones basándose en métodos mucho más científicos y rápidos que permitan estudiar el problema de la generación de alternativas y la optimización de los sistemas simulados, donde diversas metaheurísticas de optimización combinatoria como búsqueda tabú, algoritmos genéticos y recocido simulado han dado buenos resultados.

En este trabajo se encara la resolución de un problema de secuenciamiento en un entorno de servicio correspondiente a una empresa de transporte. Se busca determinar la secuencia óptima para el despacho de los camiones con la finalidad de minimizar los servicios de transportistas externos a la empresa en estudio mediante una metodología de despacho que permita despacha las “n” ordenes de servicio con los “m” camiones existentes en la empresa.

Esta memoria ha sido elaborada con una doble finalidad, por un lado definir el problema lo mejor posible en cuanto a adaptación a las circunstancias reales en que opera la empresa y por el otro lado se da solución al problema real de una empresa de transporte al optimizar el proceso de transporte, específicamente la tarea de despacho, permitiendo crear una metodología de despacho.

Para visualizar el problema se recurrió a una serie de pasos con tal de lograr hacer un buen diagnóstico de la situación actual. Los desarrollos previos a la construcción de la regla de despacho estuvieron a comprender la dinámica de la empresa así como los distintos actores logísticas que afectan directamente las operaciones de transporte y los costos derivados de éste.

Posterior a eso se realizó un análisis de toda la información relevante al momento de hacer el levantamiento de datos. Estos datos son los que alimentan el modelo de simulación y definen las características de la regla de despacho permitiendo satisfacer los objetivos planteados. Tales objetivos se entablaron

según las necesidades de la empresa y características del sector donde opera la empresa.

Se presenta una proposición de una regla de despacho compuesta para la asignación de camiones usando búsqueda estocástica con simulated annealing, el cual constituye un acercamiento al problema real de despacho de camiones en una empresa embarcadora de la octava región. Se trata de un caso particular dentro del amplio campo de la optimización en simulación.

Existen diversos métodos de optimización en simulación. Los más tradicionales corresponden a heurísticas de búsqueda de vecindario que presentan como principal desventaja la incapacidad de realizar la búsqueda en un contexto global, lo cual se traduce en muchos casos en optimalidad local. Otras herramientas de optimización han sido usadas en este problema, de las cuales las más sofisticadas y que ofrecen mejores resultados corresponden a técnicas de inteligencia artificial. Dentro de estos métodos tenemos a los Algoritmos Genéticos, Simulated Annealing y Búsqueda Tabú.

En este caso, se utilizó búsqueda estocástica con Simulated Annealing para recorrer el espacio de soluciones y así optimizar los parámetros de regla de despacho propuesta que permite minimizar la sobrecontratación de servicios a transportistas externos a la empresa en estudio.

Simulated Annealing (SA), es una de las metaheurísticas más clásicas. Su simplicidad y buenos resultados en numerosos problemas, la han convertido en una herramienta muy popular, con cientos de aplicaciones en los más variados campos.

Simulated Annealing constituye una alternativa excelente para resolver problemas de tipo combinatorio permitiendo obtener resultados muy satisfactorios, sin embargo, hasta para en los problemas más simples se debe tener cuidado a la hora de tomar las decisiones genéricas y específicas del problema, específicamente manera como se selecciona inicialmente la temperatura y como ésta es reducida luego.

En relación a esta metaheurística, sus trabajos futuros tienen que ver con la definición de los parámetros del algoritmo. por lo tanto faltan muchas tareas por hacer para lograr que el algoritmo aprenda a encontrar sus parámetros y determinar el óptimo global y esto se considerara como trabajos futuros.

La creación de esta regla de despacho permite dar luz a posibles trabajos futuros en el área del secuenciamiento de despacho. Es bien sabido que siempre al interior de una organización se requiere de algún tipo de mecanismo que permita medir la productividad o eficiencia de algún tipo de recurso y las reglas de despacho compuestas permiten elaborar ranking dinámicos de recursos y de acuerdo a la metodología de solución antes expuesta permite dar solución a problemas de tipo complejos.

El hecho de haber optimizado y validado los parámetros de ésta regla, permitirá como evolución natural de este trabajo, la creación de un software que permita mediante la metodología de despacho antes planteada, asignar los camiones dependiendo de las características del servicio a realizar con la finalidad de minimizar la cantidad de servicios externo a la empresa.

El desarrollo de este software requiere que éste tenga la capacidad de ajustarse fácil y rápidamente ante un cambio repentino en las condiciones del sistema.

La regla compuesta de despacho propuesta considera atributos dinámicos, variables en el tiempo como la carga de trabajo y el conocimiento de la ruta por parte del chofer de la orden de servicio a realizar y además se considera el año del camión.

Dada las características de los atributos que contiene esta regla, para la implementación de este software de despacho, se recomienda trabajar con bases de datos, las cuales contienen la información de la flota de transporte y mediante una interfase como Visual Basic crear los mecanismos que permitan alimentar y actualizar ésta regla.

El desarrollos de éste software de despacho deberá estar orientado al control automático de la flota de transporte que incluya, además de la información pertinente para alimentar a la regla de despacho, información relevante para la

empresa como por ejemplo informes de costo por transportistas, sobrecostos diarios generados, etc.

En síntesis, los resultados obtenidos justifican seguir investigando en ésta línea para obtener así una importante herramienta en relación al secuenciamiento de despacho.

## CAPITULO VIII: Bibliografía y referencias.

- Aarts, E.H.L., Korst, J.H.M. 1989. Simulated Annealing and Boltzmann Machines: a Stochastics Approach to Combinatorial Optimization and Neural Computing, John Wiley & Sons, Chichester.
- Alkhamis, T.M., M.A. Ahmed y V.K. Tuan. 1999. Simulated Annealing for Discrete Optimization with Estimation. *European Journal of Operational Research* 116: 530-544
- Alrefaei, M.H., y S. Andradottir. 1999. A Simulated Annealing Algorithm with Constant Temperature for Discrete Stochastic Optimization. *Management Science* 45 (5): 748-764.
- Allahverdi, A., Gupta, J.N.D. y Aldowaisan, T. A review of scheduling research involving setup considerations. *Omega*, 27(2): 219-239, 1999.
- Andradottir, S. 1995. A Methods for Discrete Stochastics Optimization. *Management Science* 41 (12): 1946-1961.
- Azadivar, F (1992) Tutorial on Simulation optimisation, In *Proceeding of the 192 Winter Simulation Conference*, Arlington, ed. J. Swain, D. Glodsmann, R. C. Crain, and J. R. Wilson, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, New Jersey, 118-126.
- Baesler, F., 2000, "Multi-Response simulation Optimization Using Stochastic Genetic Search Within a Goal Programming Framework", Ph.D. Dissertation, University of Central Florida.

- Banks, J., J.S. Carson, B.L. Nelson, 1996. *Discrete Event System Simulation*, 2º Ed., Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall.
- Brown, D.E., Huntley, C.L., 1992. A Practical Application of Simulated Annealing to Clustering. *Pattern Recognition*, Vol. 14, 4, pp. 401-412.
- Carson, J.S., 1993. "Modeling and Simulation Word Views", in *Proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference*, eds., G.W. Evans, M. Mollaghasemi, E.C. Russell, and W.E. Biles, Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 18-23. 1-4, Piscataway, NJ
- Dowsland K. y Diaz B.A. Diseño de heurísticas y fundamentos del recocido simulado. *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*. 2003
- Dominguez Machuca, J. (coordinador). Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos de la producción y los servicios. Madrid: Ed. McGraw-Hill, 1995.
- Eglese, R. W., 1990, Simulated Annealing: A tool for Operational Research, *European Journal Of Operational research*, Vol. 46.
- Fleisher, H.J., Tavel, M.A., Martin, D.B., 1985. Simulated Annealing as a Tool for Logic Optimization in a CAD Environment. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer-Aided Design*, pp. 203-205.
- Fu, M.C. (1994) A Tutorial Review of Techniques for Simulation Optimisation, In *Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference*, Lake Buena Vista, ed. Jeffrey D. Tew, S.Manivannan, D. A Sadowski, and A.

F. Seila, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, New Jersey, 149-156

- Gendreau, M., Laporte, G. y Séguin, R. (1996) “Stochastic vehicle routing” *Eur J Opt Res* 88:3-12
- Hillier, F. y Lieberman, J., *Introducción a la Investigación de Operaciones*. 3ª Edición, McGraw Hill, México, 1982 .
- Hajek, B. 1988. *Cooling Schedules for Optimal Annealing*. Mathematics of Operations Research, vol 13, No. 2, pp311-329.
- Johnson, D.S., Aragon, C.R., McGeoch, L.A.M. and Schevon, C. 1991. Optimization by Simulated Annealing: An Experimental Evaluation; Part II, Graph Coloring and Number Partitioning. *Operations Research*, 39, 378-406
- Kirkpatrick, S , Gelatt, C.D., Vecchi, M.P. 1983. *Optimization by Simulated Annealing*. *Science*, vol 220, No. 4598, pp671-680.
- Lario F.C., Escudero L., Pastor S., Garcia J.P. (1999): “Suplí Chain Management planning & optimization under uncertainty: modelling and solving applied to a company in the automotives sector. “Advanced Computer Systems (ACS’99), 18-19. September 1999, Szczecin, Poland.
- Law, A. M. and Kelton, D.W. (1991) *Simulation Modeling and Analysis*, 2ª edition, McGraw-Hill Inc, New York
- Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Rinnooy Kan, A.H.G. y Shmoys, D. Sequencing and scheduling: Algorithms and complexity. En S.S. Graves, A.H.G. Rinnooy Kan y P. Zipkin, editores, *Handbook in Operations Research and*

Management Science, Vol. 4: Logistics of Production and Inventory, 445-522. North-Holland, New York, 1993.

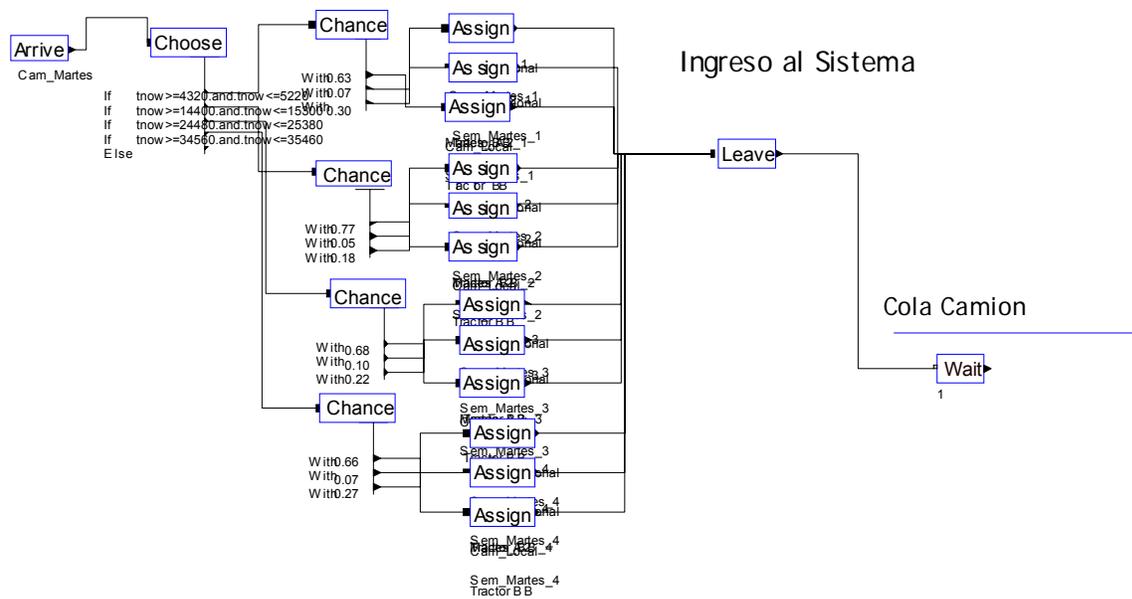
- Liu F. y Shen, S. (1999) "The flete size and mix vehicle routing problem with time windows" *J Opt Res Soc* 50: 721-735
- Lundy, M., Mees, A. 1986. Convergence of an Annealing Algorithm. *Math. Prog.*, 34, 111-124
- Mentzer, J., DeWitt, W., Keebler, J., Min, S., Nix, N., Smith, C., Zacharia, Z., "Defining Supply Chain Management", *Journal of Business Logistics*, Vol. 22, Num.2 (2001), pags 1-25.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A.W., Rosenbluth, M.N., Teller, A.H., Teller, E. 1953. Equation of State Calculation by Fast Computing Machines. *J. of Chem. Phys.*, 21, 1087-1091.
- Moraga R., Santelices I., Backhouse P.,2002. "Apuntes: Tópicos en Programación de la Producción y Logística". Depto. Ingeniería Industrial. Universidad del Bío-Bío.
- Morton, T.E., and Pentico, D. W., 1993, *Heuristics Scheduling Systems with Applications to Production Systems and Project Management*, New York.
- Pinedo, M., 1995, *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*, Prentice-Hall.
- Pinedo M., Chao X. , *Operations Scheduling with Applications in Manufacturing and Services*, McGraw Hill, 1999

- Rajendran, Ch., Ziegler, H. (2001). A performance Análisis of Dispatching rules and heuristic in static flowshops with missing operation of jobs, *European Journal of Operational Research*, 131, 622-34.
- Ronald R. Optimization in Operations Research. Prentice Hall, Inc. 1998.
- SHUMANN CONSORTIUM (1998), "Supply Chain Management Model Specification. (Deliverable D2.3). European Commission. DGIII Industry.
- Van Laarhoven, P.J.M, Aarts, E.H.L. 1987. *Simulated Annealing: Theory and Applications*. D. Reidel Publishing.
- Wren, A. (1999) Heuristics Ancient and Modern; Transport scheduling through the ages. *Leeds Artificial Intelligence Seminar Series*, University of Leeds.

# **ANEXO A**

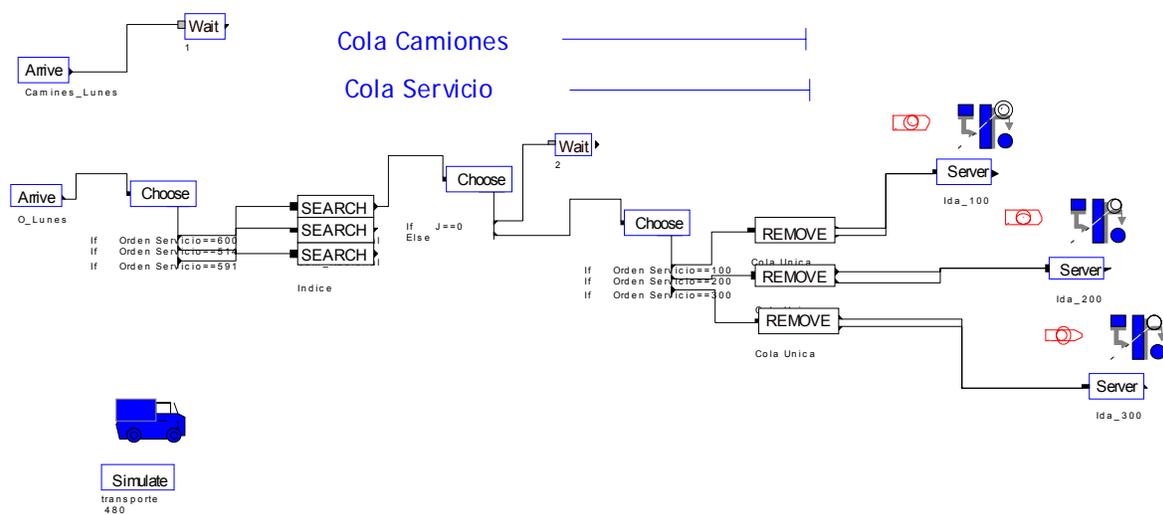
### a) Ingreso de camiones y ordenes de servicio

Los camiones ingresan diariamente mediante una distribución de probabilidades, posteriormente se clasifican según su Tipo y posteriormente ingresan a la cola de camiones en espera de algún servicio.



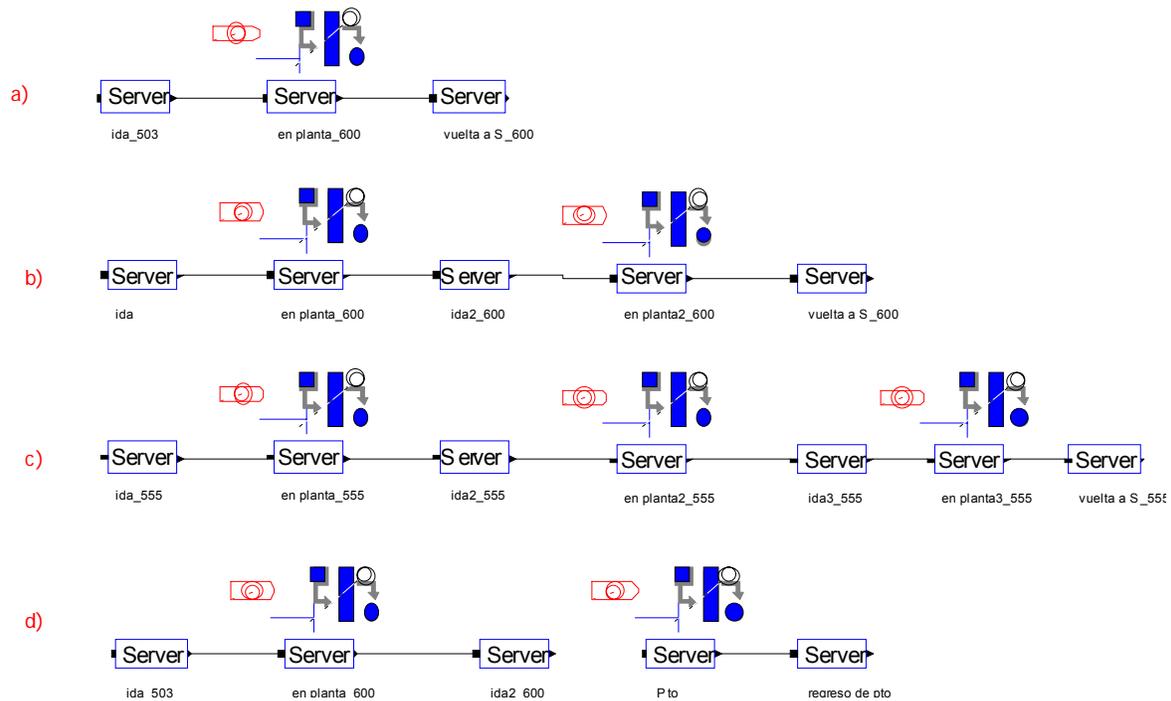
## b) Proceso de despacho

El proceso de despacho se inicia con el ingreso y confirmación de una orden de servicio, luego se inicia la búsqueda de camiones. Si existen camiones para realizaran el servicio, el camión es removido de la cola de camiones e ingresa al nodo server, el cual contiene su tiempo de viaje.



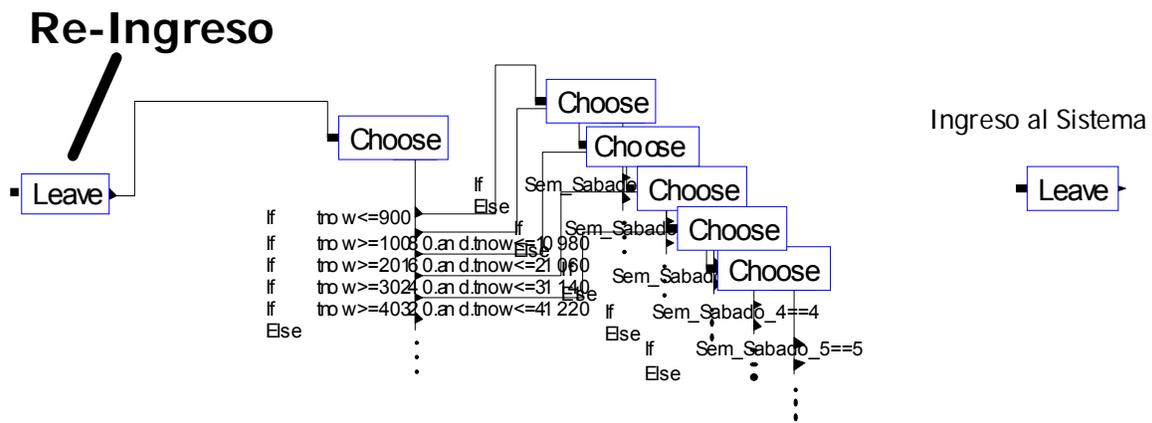
### c) Trayectoria y tiempos de viajes

En relación a los tiempos de viaje, se trabaja con velocidades promedio y los tiempos de carga y descarga, tanto en la planta de los clientes como los distintos puerto de la zona se estiman mediante distribuciones de probabilidad. Se utilizó el nodo server para representar esta situación.



### d) Re-ingreso de camiones al sistema

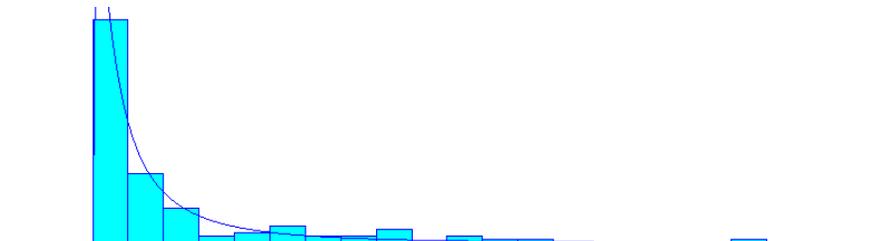
Una vez que los camiones realizan los distintos servicios demandados, estos son re-ingresados al sistema quedando disponibles en la cola de camiones. Los camiones son re-ingresados al sistema sólo si éstos pertenecen al día de operación.



# **ANEXO B**

## S1. Ingreso Servicios día Sábado

Para el ajuste de curva de distribución de probabilidad se utilizó el software Input Analyzer. Se utilizó el test chi-cuadrado para el análisis de las pruebas de hipótesis



Distribution: Lognormal  
 Expression:  $-0.5 + \text{LOGN}(8.75, 20.2)$   
 Square Error: 0.002962

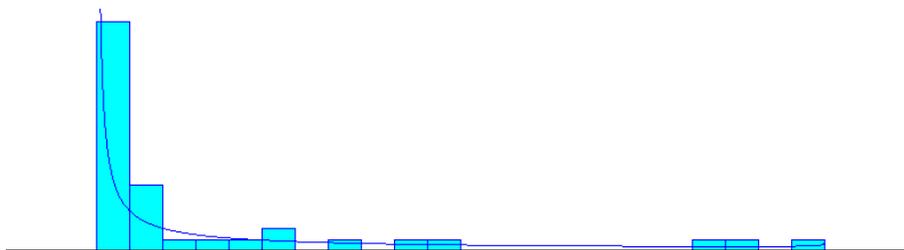
Ho: El tiempo de ingreso de las ordenes de servicio el día sábado se distribuye con función de probabilidad Lognormal antes descrita.

Chi Square Test	
Number of intervals	= 4
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 1.06
Corresponding p-value	= 0.327
Test Chi Cuadrado Teórico	= 3.84

Como el Test Statistic < Test Chi-Cuadrado Teórico ( $1.06 < 3.84$ ), no existe evidencia para rechazar Ho, por lo tanto, se acepta que el tiempo de ingreso de las ordenes de servicio el día sábado, se distribuye Lognormal, con los parámetros antes definidos para un nivel de confianza de 0.05.

## S2. Ingreso Servicios día Lunes

Para el ajuste de curva de distribución de probabilidad se utilizó el software Input Analyzer. Se utilizó el test chi-cuadrado para el análisis de las pruebas de hipótesis



Distribution: Beta  
 Expression:  $-0.5 + 43 * \text{BETA}(0.161, 0.876)$   
 Square Error: 0.011501

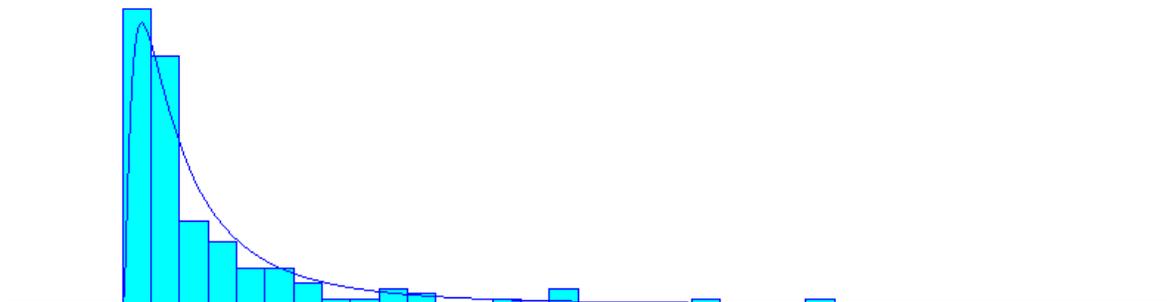
Ho: El tiempo de ingreso de las ordenes de servicio el día lunes se distribuye con función de probabilidad Beta antes descrita.

Chi Square Test	
Number of intervals	= 4
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 1.83
Corresponding p-value	= 0.195
Test Chi Cuadrado Teórico	= 3.84

Como el Test Statistic < Test Chi-Cuadrado Teórico ( $1.83 < 3.84$ ), no existe evidencia para rechazar Ho, por lo tanto, se acepta que el tiempo de ingreso de las ordenes de servicio el día sábado, se distribuye Beta, con los parámetros antes definidos para un nivel de confianza de 0.05.

### S3. Ingreso Servicios día Martes

Para el ajuste de curva de distribución de probabilidad se utilizó el software Input Analyzer. Se utilizó el test chi-cuadrado para el análisis de las pruebas de hipótesis



Distribution: Lognormal  
 Expression:  $-0.5 + \text{LOGN}(5.23, 7.43)$   
 Square Error: 0.003637

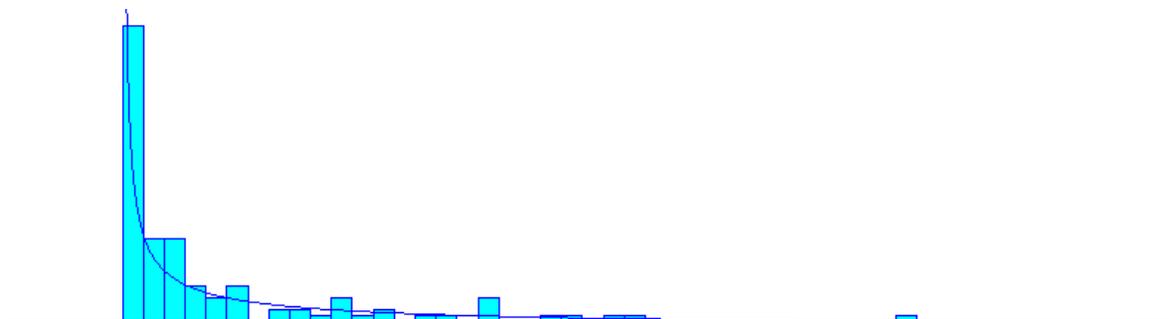
Ho: El tiempo de ingreso de las ordenes de servicio el día martes se distribuye con función de probabilidad Lognormal antes descrita.

Chi Square Test	
Number of intervals	= 6
Degrees of freedom	= 3
Test Statistic	= 3.02
Corresponding p-value	= 0.407
Test Chi Cuadrado Teórico	= 7.81

Como el Test Statistic < Test Chi-Cuadrado Teórico ( $3.02 < 7.81$ ), no existe evidencia para rechazar Ho, por lo tanto, se acepta que el tiempo de ingreso de las ordenes de servicio el día martes, se distribuye Lognormal, con los parámetros antes definidos para un nivel de confianza de 0.05.

#### S4. Ingreso Servicios día Miércoles

Para el ajuste de curva de distribución de probabilidad se utilizó el software Input Analyzer. Se utilizó el test chi-cuadrado para el análisis de las pruebas de hipótesis



Distribution: Beta  
 Expression:  $-0.5 + 76 * \text{BETA}(0.291, 2.29)$   
 Square Error: 0.006350

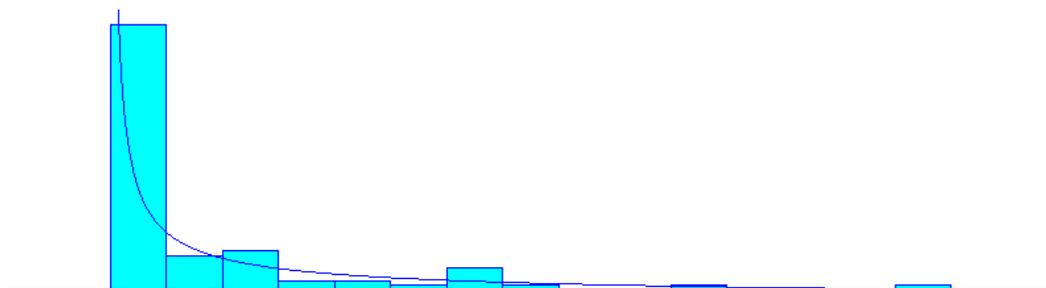
Ho: El tiempo de ingreso de las ordenes de servicio el día miércoles se distribuye con función de probabilidad Beta antes descrita.

Chi Square Test	
Number of intervals	= 6
Degrees of freedom	= 3
Test Statistic	= 4.31
Corresponding p-value	= 0.236
Test Chi Cuadrado Teórico	= 7.81

Como el Test Statistic < Test Chi-Cuadrado Teórico ( $4.31 < 7.81$ ), no existe evidencia para rechazar Ho, por lo tanto, se acepta que el tiempo de ingreso de las ordenes de servicio el día miércoles, se distribuye Lognormal, con los parámetros antes definidos para un nivel de confianza de 0.05.

## S5. Ingreso Servicios día Jueves

Para el ajuste de curva de distribución de probabilidad se utilizó el software Input Analyzer. Se utilizó el test chi-cuadrado para el análisis de las pruebas de hipótesis



Distribution: Beta  
 Expression:  $-0.5 + 88 * \text{BETA}(0.236, 2)$   
 Square Error: 0.013267

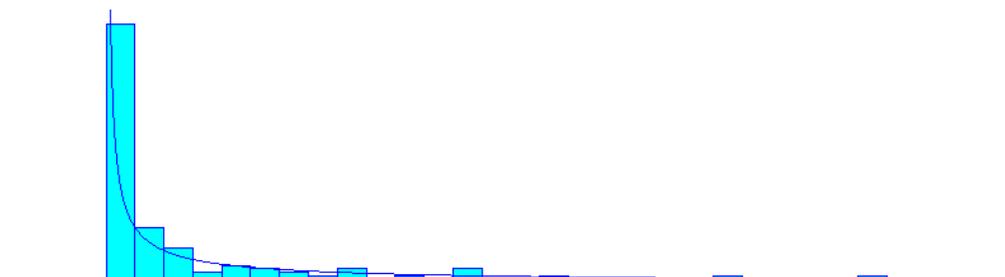
Ho: El tiempo de ingreso de las ordenes de servicio el día jueves se distribuye con función de probabilidad Beta antes descrita.

Chi Square Test	
Number of intervals	= 4
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 1.9
Corresponding p-value	= 0.188
Test Chi Cuadrado Teórico	= 3.84

Como el Test Statistic < Test Chi-Cuadrado Teórico ( $1.9 < 3.84$ ), no existe evidencia para rechazar Ho, por lo tanto, se acepta que el tiempo de ingreso de las ordenes de servicio el día jueves, se distribuye Beta, con los parámetros antes definidos para un nivel de confianza de 0.05.

## S6. Ingreso Servicios día Viernes

Para el ajuste de curva de distribución de probabilidad se utilizó el software Input Analyzer. Se utilizó el test chi-cuadrado para el análisis de las pruebas de hipótesis



Distribution: Beta  
 Expression:  $-0.5 + 81 * \text{BETA}(0.218, 2.27)$   
 Square Error: 0.006245

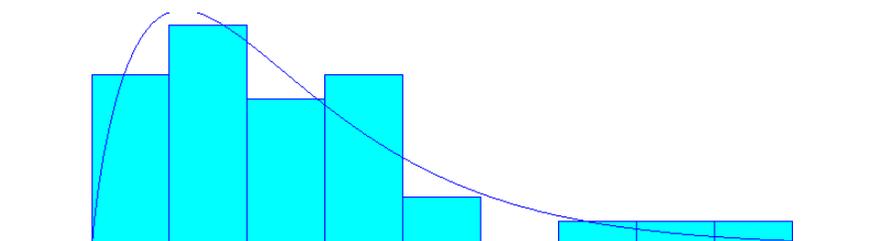
Ho: El tiempo de ingreso de las ordenes de servicio el día viernes se distribuye con función de probabilidad Beta antes descrita.

Chi Square Test	
Number of intervals	= 5
Degrees of freedom	= 2
Test Statistic	= 3.12
Corresponding p-value	= 0.222
Test Chi Cuadrado Teórico	= 5.99

Como el Test Statistic < Test Chi-Cuadrado Teórico ( $3.12 < 5.99$ ), no existe evidencia para rechazar Ho, por lo tanto, se acepta que el tiempo de ingreso de las ordenes de servicio el día viernes, se distribuye Beta, con los parámetros antes definidos para un nivel de confianza de 0.05

## C1. Ingreso Camiones día Sábado

Para el ajuste de curva de distribución de probabilidad se utilizó el software Input Analyzer. Se utilizó el test chi-cuadrado para el análisis de las pruebas de hipótesis



Distribution: Gamma  
 Expression:  $-0.5 + \text{GAMM}(1.43, 1.81)$   
 Square Error: 0.009470

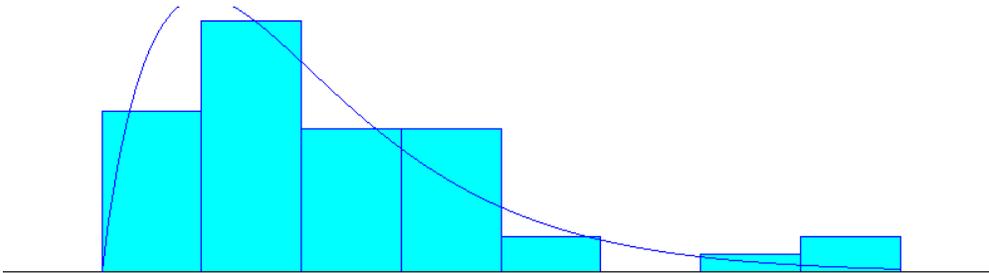
Ho: El tiempo de ingreso los camiones el día sábado se distribuye con función de probabilidad Gamma antes descrita.

Chi Square Test	
Number of intervals	= 4
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 0.611
Corresponding p-value	= 0.455
Test Chi Cuadrado Teórico	= 3.84

Como el Test Statistic < Test Chi-Cuadrado Teórico ( $0.611 < 3.84$ ), no existe evidencia para rechazar Ho, por lo tanto, se acepta que el tiempo de ingreso de los camiones el día sábado se distribuye Gamma, con los parámetros antes definidos para un nivel de confianza de 0.05

## C2. Ingreso Camiones día Lunes

Para el ajuste de curva de distribución de probabilidad se utilizó el software Input Analyzer. Se utilizó el test chi-cuadrado para el análisis de las pruebas de hipótesis



Distribution: Gamma  
 Expression:  $-0.5 + \text{GAMM}(1.24, 1.92)$   
 Square Error: 0.007944

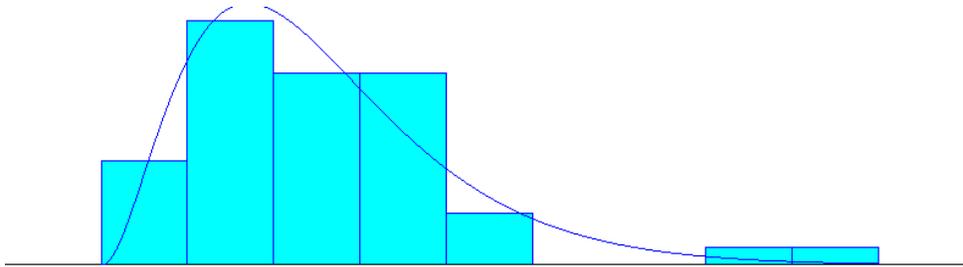
Ho: El tiempo de ingreso los camiones el día lunes se distribuye con función de probabilidad Gamma antes descrita.

Chi Square Test	
Number of intervals	= 5
Degrees of freedom	= 2
Test Statistic	= 3.33
Corresponding p-value	= 0.205
Test Chi Cuadrado Teórico	= 5.99

Como el Test Statistic < Test Chi-Cuadrado Teórico ( $3.33 < 5.99$ ), no existe evidencia para rechazar Ho, por lo tanto, se acepta que el tiempo de ingreso de los camiones el día lunes se distribuye Gamma, con los parámetros antes definidos para un nivel de confianza de 0.05

### C3. Ingreso Camiones día Martes

Para el ajuste de curva de distribución de probabilidad se utilizó el software Input Analyzer. Se utilizó el test chi-cuadrado para el análisis de las pruebas de hipótesis



Distribution: Erlang  
 Expression:  $-0.5 + \text{ERLA}(0.848, 3)$   
 Square Error: 0.008969

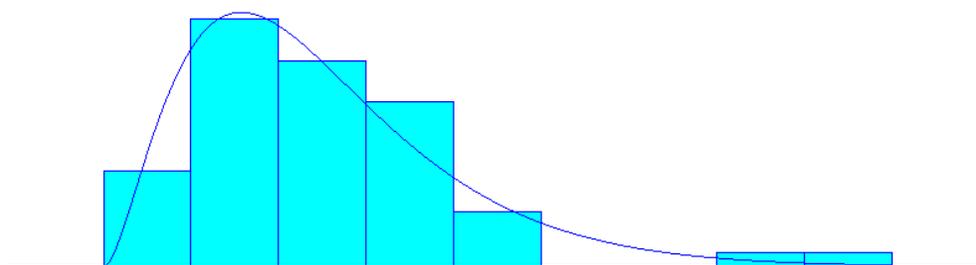
Ho: El tiempo de ingreso los camiones el día martes se distribuye con función de probabilidad Erlang antes descrita.

Chi Square Test	
Number of intervals	= 5
Degrees of freedom	= 2
Test Statistic	= 3.57
Corresponding p-value	= 0.184
Test Chi Cuadrado Teórico	= 5.99

Como el Test Statistic < Test Chi-Cuadrado Teórico ( $3.57 < 5.99$ ), no existe evidencia para rechazar Ho, por lo tanto, se acepta que el tiempo de ingreso de los camiones el día martes se distribuye Erlang, con los parámetros antes definidos para un nivel de confianza de 0.05

#### C4. Ingreso Camiones día Miércoles

Para el ajuste de curva de distribución de probabilidad se utilizó el software Input Analyzer. Se utilizó el test chi-cuadrado para el análisis de las pruebas de hipótesis



Distribution: Gamma  
 Expression:  $-0.5 + \text{GAMM}(0.916, 2.71)$   
 Square Error: 0.005316

Ho: El tiempo de ingreso los camiones el día miércoles se distribuye con función de probabilidad Gamma antes descrita.

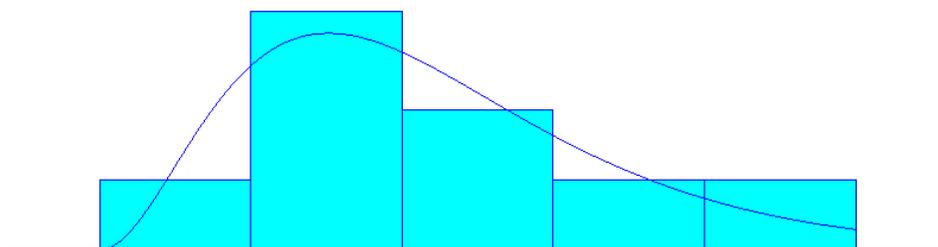
#### Chi Square Test

Number of intervals	= 5
Degrees of freedom	= 2
Test Statistic	= 3.11
Corresponding p-value	= 0.222
Test Chi Cuadrado Teórico	= 5.99

Como el Test Statistic < Test Chi-Cuadrado Teórico ( $3.11 < 5.99$ ), no existe evidencia para rechazar Ho, por lo tanto, se acepta que el tiempo de ingreso de los camiones el día miércoles se distribuye Gamma, con los parámetros antes definidos para un nivel de confianza de 0.05

## C5. Ingreso Camiones día Jueves

Para el ajuste de curva de distribución de probabilidad se utilizó el software Input Analyzer. Se utilizó el test chi-cuadrado para el análisis de las pruebas de hipótesis



Distribution: Gamma  
 Expression:  $-0.5 + \text{GAMM}(0.703, 3.15)$   
 Square Error: 0.008243

Ho: El tiempo de ingreso los camiones el día jueves se distribuye con función de probabilidad Gamma antes descrita.

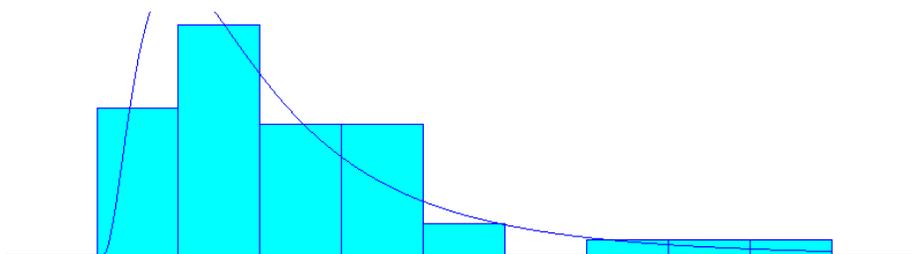
### Chi Square Test

Number of intervals	= 4
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 1.19
Corresponding p-value	= 0.288
Test Chi Cuadrado Teórico	= 3.84

Como el Test Statistic < Test Chi-Cuadrado Teórico ( $1.19 < 3.84$ ), no existe evidencia para rechazar Ho, por lo tanto, se acepta que el tiempo de ingreso de los camiones el día jueves se distribuye Gamma, con los parámetros antes definidos para un nivel de confianza de 0.05

## C6. Ingreso Camiones día Viernes

Para el ajuste de curva de distribución de probabilidad se utilizó el software Input Analyzer. Se utilizó el test chi-cuadrado para el análisis de las pruebas de hipótesis



Distribution: Lognormal  
 Expression:  $-0.5 + \text{LOGN}(2.46, 2.28)$   
 Square Error: 0.008516

Ho: El tiempo de ingreso los camiones el día viernes se distribuye con función de probabilidad Lognormal antes descrita.

### Chi Square Test

Number of intervals	= 4
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 1.95
Corresponding p-value	= 0.182
Test Chi Cuadrado Teórico	= 3.84

Como el Test Statistic < Test Chi-Cuadrado Teórico ( $1.95 < 3.84$ ), no existe evidencia para rechazar Ho, por lo tanto, se acepta que el tiempo de ingreso de los camiones el día viernes se distribuye Lognormal, con los parámetros antes definidos para un nivel de confianza de 0.05