

**TRABAJO DE GRADO**

**MODELO PARA LA SIMULACION DE UN RUTEO LOGISTICO INTERNO PARA UNA  
EMPRESA QUE IMPORTA FIBRA TEXTIL DESDE CHINA**

**LUIS FELIPE RODRÍGUEZ DAZA  
JAVIER ANDRÉS CORREA MARÍN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
ESCUELA DE INGENIERÍAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**MEDELLÍN**

**2014**

**MODELO PARA LA SIMULACION DE UN RUTEO LOGISTICO INTERNO PARA UNA  
EMPRESA QUE IMPORTA FIBRA TEXTIL DESDE CHINA**

**LUIS FELIPE RODRÍGUEZ DAZA**

**JAVIER ANDRÉS CORREA MARÍN**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial**

**DIRECTOR**

**JAVIER DARIO FERNANDEZ LEDESMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**MEDELLÍN**

**2014**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**FIRMA PRESIDENTE DEL JURADO**

---

**FIRMA DEL JURADO**

---

**FIRMA DEL JURADO**

---

## **DEDICATORIA**

**Quiero dedicar este trabajo a mi familia quien ha sido el motor de impulso para alcanzar todos los logros obtenidos a lo largo de mi formación profesional**

Luis Felipe Rodríguez Daza

**La dedicación de este trabajo es principalmente para mi familia ya que gracias a su dedicación y esfuerzo he podido alcanzar logros significativos en mi proceso de formación personal y académica.**

Javier Andrés Correa Marín

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores presentan un gran profundo agradecimiento a:

**JAVIER DARIO FERNANDEZ LEDESMA**, por compartir su amplio conocimiento de una manera desinteresada, gracias a su experiencia y a su formación profesional y personal, se alcanzaron los objetivos propuestos con la ejecución del Proyecto.

**EMPRESA GRUPO C&M**, por permitirnos formar parte de su desarrollo estructural a través de la ejecución del proyecto, esto ha significado una oportunidad importante para nuestro crecimiento profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. RESUMEN.....                                                          | 11 |
| 2. INTRODUCCIÓN.....                                                     | 12 |
| 3. JUSTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....                         | 13 |
| 4. OBJETIVOS.....                                                        | 14 |
| 5. ESTADO DEL ARTE .....                                                 | 15 |
| 5.1 MARCO TEÓRICO.....                                                   | 15 |
| 5.1.1 Glosario .....                                                     | 15 |
| 5.2 ANTECEDENTES CONCEPTUALES .....                                      | 17 |
| 5.2.1 Logística y Cadena de Suministros .....                            | 17 |
| 5.2.2 Acerca de Simulación .....                                         | 19 |
| 5.2.3 Procesos de Simulación.....                                        | 20 |
| 5.2.4 Ventajas de la simulación. ....                                    | 21 |
| 5.2.5 Definiciones de Simulación para la construcción de un modelo. .... | 22 |
| 5.2.6 Pruebas de bondad de ajuste .....                                  | 23 |
| 5.2.7 Acerca de Optimización. ....                                       | 23 |
| 5.2.8 Investigación de Operaciones .....                                 | 23 |
| 5.2.9 Programación Lineal .....                                          | 25 |
| 5.2.10 Modelo de Transporte .....                                        | 25 |
| 5.2.11 Acerca de WINQSB .....                                            | 26 |
| 5.3 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....                                     | 27 |
| 6. DIAGNÓSTICO EMPRESARIAL .....                                         | 29 |
| 7. DESARROLLO INVESTIGATIVO Y ESTRUCTURAL.....                           | 31 |
| 7.1 Descripción Logística del Proceso.....                               | 31 |
| 7.2 Descripción de tiempos .....                                         | 33 |
| 7.3 Generación y Validación Estadística de los datos .....               | 34 |
| 7.4 Determinación del tipo de distribución del conjunto de datos.....    | 35 |
| 8. SIMULACIÓN EN PROMODEL .....                                          | 36 |
| 8.1 Mapa de Procesos .....                                               | 36 |
| 8.1.2 Entidades (Entities).....                                          | 36 |
| 8.1.3 Recursos (Resources) .....                                         | 37 |
| 8.1.4 Locaciones (Locations) .....                                       | 37 |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.1.5 Llegadas (Arrivals) .....                                          | 39 |
| 9. SIMULACIÓN DISCRETA.....                                              | 39 |
| 9.1 SIMULACIÓN DEL MODELO ACTUAL.....                                    | 39 |
| 9.1.1 Locaciones.....                                                    | 39 |
| 9.1.2 Recursos .....                                                     | 40 |
| 9.1.3 Entidades.....                                                     | 41 |
| 9.1.4 Validación estadística de los datos de salida .....                | 42 |
| 9.2 SIMULACIÓN DE ESCENARIOS .....                                       | 43 |
| 9.2.1 ESCENARIO 1 (La materia prima llega a puerto en Buenaventura)..... | 43 |
| 9.2.1.1 Locaciones.....                                                  | 44 |
| 9.2.1.2 Recursos.....                                                    | 45 |
| 9.2.1.3 Entidades.....                                                   | 46 |
| 9.2.1.4 Validación estadística de los datos de salida .....              | 47 |
| 9.2.2 ESCENARIO 2 (Centro de Distribución en Cali).....                  | 47 |
| 9.2.2.1 Locaciones.....                                                  | 49 |
| 9.2.2.2 Recursos.....                                                    | 49 |
| 9.2.2.3 Entidades.....                                                   | 50 |
| 9.2.2.4 Validación estadística de los datos de salida .....              | 51 |
| 10. CONCLUSIONES .....                                                   | 53 |
| 11. RECOMENDACIONES .....                                                | 55 |
| 12. OPTIMIZACIÓN.....                                                    | 56 |
| 12.1 Introducción.....                                                   | 56 |
| 12.2 Contextualización .....                                             | 56 |
| 12.3 Análisis.....                                                       | 57 |
| 12.3.1 Transporte y Transbordo.....                                      | 57 |
| 12.3.2 Descripción Logística gráfica .....                               | 58 |
| 12.3.3 Función objetivo.....                                             | 59 |
| 12.3.4 Restricciones de suministros.....                                 | 59 |
| 12.3.5 Ecuaciones de transbordo .....                                    | 59 |
| 12.3.6 Ecuaciones de Demanda .....                                       | 59 |
| 12.4 Simulación en WinQSB .....                                          | 59 |
| 12.4.1 Matriz de Ecuaciones.....                                         | 59 |
| 12.4.2 Diagrama de Red.....                                              | 60 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 12.5 Solución .....    | 60 |
| 12.6 Conclusiones..... | 61 |
| 13. ANEXO 1 .....      | 63 |
| BIBLIOGRAFÍA.....      | 70 |



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Cadena de Suministros para una empresa
- Figura 2. Actividades de la logística en la cadena de suministros
- Figura 3. Modelo de transporte
- Figura 4. Diagrama logístico
- Figura 5. Procesos utilizados en Promodel® escenario actual
- Figura 6. Rollos
- Figura 7. Contenedores
- Figura 8. Recursos utilizados en Promodel® escenario actual
- Figura 9. Locaciones utilizados en Promodel® escenario actual
- Figura 10. Llegadas utilizados en Promodel® escenario actual
- Figura 11. Locaciones resultados en Promodel® escenario actual
- Figura 12. Recursos resultados en Promodel® escenario actual
- Figura 13. Utilización de recursos en Promodel® escenario actual
- Figura 14. Entidades resultados en Promodel® escenario actual
- Figura 15. Entidades resultados en Promodel® escenario actual
- Figura 16. Entidades en Promodel® escenario actual
- Figura 17. Locaciones resultados en Promodel® escenario 1
- Figura 18. Recursos resultados en Promodel® escenario 1
- Figura 19. Puerto en Buenaventura
- Figura 20. Utilización de Recursos resultados en Promodel® escenario 1
- Figura 21. Entidades resultados en Promodel® escenario 1
- Figura 22. Utilización de Entidades resultados en Promodel® escenario 1
- Figura 23. Locaciones resultados en Promodel® escenario 2
- Figura 24. Recursos resultados en Promodel® escenario 2
- Figura 25. Ciudad de Cali (nuevo centro de distribución)

Figura 26. Gráfica de utilización de recursos en Promodel® escenario 2

Figura 27. Entidades en Promodel® escenario 2

Figura 28. Entidades en Promodel® escenario 2

Figura 29. Gráfica de entidades en Promodel® escenario 2

Figura 30. Matriz de ecuaciones WinQSB

Figura 31 Diagrama de red WinQSB

Figura 32. Simulación WinQSB

### **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Diagnóstico empresarial – Gestión gerencial

Tabla 2. Diagnóstico empresarial – Gestión financiera

Tabla 3. Diagnóstico empresarial – Gestión administrativa

Tabla 4. Tiempos Históricos escenario actual

Tabla 5. Datos estadísticos escenario actual

Tabla 6. Validación estadística de los datos de salida

Tabla 7. Datos Estadístico Escenario 1.

Tabla 8. Validación estadística datos de salida Escenario 1.

Tabla 9. Datos Estadísticos Escenario 2

Tabla 10. Validación estadística datos de salida Escenario 2.

Tabla 11. Origen - Destino

Tabla 12. Transbordo - Destino

Tabla 13. Ruta Óptima del modelo

## 1. RESUMEN

El proyecto plantea un modelo de simulación logística para una empresa que importa fibra textil desde China. La empresa Grupo C&M importa fibra textil para comercializarla en diferentes ciudades del País (Bogotá, Medellín, Manizales). El modelo de simulación se estructuró para el ruteo interno logístico, ruteo que comprende el proceso desde la llegada de la materia prima al puerto en Cartagena, su recorrido hacia las bodegas en la Ciudad de Bogotá, hasta el despacho a cada una de las ciudades, en donde dicha materia prima se comercializará. De igual manera el proyecto plantea una optimización de las variables, los costos y los tiempos de recorridos entre cada uno de los nodos.

El proyecto en su desarrollo define tres partes fundamentales. En la primera parte se define la simulación real del modelo, esta simulación permitió identificar las variaciones de los tiempos en los recorridos, con lo cual se estructuró la segunda parte del proyecto, en donde se plantearon dos escenarios alternativos con el fin de identificar el mejor modelo para la organización. En una tercera parte el proyecto plantea un modelo de optimización para la organización, con el objetivo de minimizar los costos de transporte en un escenario estructurado por la organización, con este modelo se buscó optimizar por medio de un modelo de transporte los costos, definiendo la ruta de óptima de distribución de la materia prima.

El proyecto parte desde los conceptos de la logística industrial, estructurando la cadena de valor de la organización, hasta llegar a la simulación y optimización del modelo logístico.

## 2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la mayor parte de las organizaciones y sus procesos productivos y logísticos han crecido en complejidad y han visto aumentados los requerimientos de competitividad, flexibilidad y calidad en sus actividades. Por ello han debido innovar y adaptarse a los constantes cambios provocados por su pertenencia a un mercado cada vez más global, necesitando para esto la utilización de herramientas como la simulación, que ofrecen una plataforma que permite abordar con éxito un proceso de mejora de sistemas complejos

La simulación es sin duda una de las herramientas más importantes que se tiene para la toma de decisiones dentro de una organización ya que es una práctica común a todas las disciplinas de la ingeniería y de la ciencia. La importancia de esta radica en que permite modificar variables que en el sistema real no están accesibles o no pueden ser modificadas en un rango requerido.

Coss (2003) ha sugerido que un estudio de simulación permite tener una observación detallada del sistema que se está simulando lo cual lleva a entender mejor el modelo y plantear escenarios alternos con el fin de sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia del sistema.

En este proyecto se analizan los resultados obtenidos después de desarrollar una simulación del proceso logístico de una empresa importadora de fibra textil, con el fin de identificar la forma correcta de utilización de los recursos disponibles, optimizando la productividad de la empresa. Una vez interpretados los resultados obtenidos de la simulación se plantearon dos escenarios alternos para la organización, estos se definieron con el objetivo de presentarle a la empresa opciones para mejorar su modelo logístico.

### 3. JUSTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto se realiza con el fin de aplicar una serie de conocimientos adquiridos en la academia, definiendo una integración de éstos para realizar una investigación. En este proceso de aplicación de conocimientos se define un proyecto a realizar en una empresa industrial, con el fin de mejorar la productividad y la eficiencia de ésta, ya que se va a definir un estándar de tiempo de costos y de transporte. Esto le permite a la empresa estructurar un crecimiento sostenible y mejorar su capacidad de comercialización de la materia prima en el país.

El proyecto se plantea porque es necesario realizar un trabajo de campo en donde se apliquen algunos conceptos recibidos en la carrera, con el fin de obtener el grado de titulación. Ese es el primer planteamiento del porqué se realiza el proyecto, pero también es acertado identificar que el proyecto se plantea porque la empresa GRUPO C&M necesita un trabajo con estas características que le permita simular su ruteo logístico, con el fin de identificar las variables relevantes del modelo y plantear diferentes alternativas para la empresa, buscando identificar el modelo más dinámico y adecuado para la organización.

Se plantea un proyecto de simulación porque ésta se constituye en una herramienta importante para la representación real del modelo de ruteo logístico de la empresa, permitiendo ajustar cambios y hacer un mejor aprovechamiento de los recursos. El modelo de simulación se estructura para identificar el funcionamiento real de la empresa para definir con esto algunas propuestas y diseños alternativos con el fin de plantear un mejor modelo que le permita a la organización mejorar su desarrollo estructural. De igual manera con el proyecto se busca diseñar un modelo de optimización que le permita a la organización minimizar los costos de transporte en un escenario planteado, con el fin de estudiar la viabilidad de dicho escenario.

## **4. OBJETIVOS**

### OBJETIVO GENERAL

Diseñar y proponer un modelo de simulación para el ruteo logístico en la empresa GRUPO C&M

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Identificar las variables representativas del modelo de simulación logístico en la organización.
2. Describir el comportamiento de la cadena de suministros de la organización, con el fin de obtener la información sobre la caracterización de los procesos.
3. Validar los datos obtenidos en el proceso para la construcción del modelo.
4. Construir el modelo de simulación propuesto.
5. Validar los resultados generados por el modelo de simulación logística.
6. Diseñar un modelo de optimización para la organización.

## 5. ESTADO DEL ARTE

### 5.1 MARCO TEÓRICO

#### 5.1.1 Glosario

##### **Cadena de suministros:**

La cadena de suministros es un conjunto de actividades funcionales (Transporte, control de inventario, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal del flujo, mediante los cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor. Dado que las fuentes de materias primas, las fábricas y los puntos de venta normalmente no están ubicados en los mismos lugares y el canal de flujo representa una serie de pasos de manufactura, las actividades de logística se repiten muchas veces antes de que un producto llegue a su lugar de mercado. Incluso entonces, las actividades de logística se repiten una vez más cuando los productos usados se reciclan en el canal de la logística pero en sentido inverso (Ballou, 1999)

##### **Logística:**

Planificación, organización y control de conjuntos de las actividades de movimiento y almacenamiento que facilitan el flujo de materiales y productos desde la fuente al consumo, para satisfacer la demanda al menor coste, incluidos los flujos de información y control (Guadalupe, 2008)

##### **Logística Empresarial:**

Dado un nivel de servicio al cliente predeterminado, la logística se encargará del diseño y gestión del flujo de información y de materiales entre clientes y proveedores (distribución, fabricación, aprovisionamiento, almacenaje y transporte,...) con el objetivo de disponer del material adecuado, en el lugar adecuado, en la cantidad adecuada, y en el momento oportuno, al mínimo coste posible y según la calidad y servicio predefinidos para ofrecer a nuestros clientes (Guadalupe, 2008).

##### **Simulación:**

Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema (Shannon, 1997).

##### **Commodities:**

Se denomina commodity a todo bien que es producido en masa por el hombre o incluso del cual existen enormes cantidades disponibles en la naturaleza, que tiene un valor o utilidad y un muy bajo nivel de diferenciación o especialización. Quizás en este momento tenga dudas sobre qué sería y que no uno de estos elementos, pero poco a poco lo detallaré más

adelante y prometo que terminará de leer sabiendo básicamente qué es y cómo invertir en ellos (Cabrera, 2007).

### **Promodel**

Promodel es un programa de simulación de procesos industriales, permite simular cualquier tipo de proceso de manufactura, además de procesos logísticos, procesos de manejo de materiales y contiene excelentes simulaciones de talleres, grúas viajeras, bandas de transporte y mucho más. En teoría, cualquier sistema de procesos puede ser modelado en computadora, solo se necesita de esfuerzo e ingenio, además de las herramientas que nos permitan plasmar nuestro pensamiento en un modelo computarizado, una de esas herramientas es “Promodel”, en el cual se puede crear un modelo computarizado de todo proceso de manufactura y una vez realizado el modelado, se podrá simular sobre él una gran cantidad de situaciones como Justo a Tiempo, Teoría de Restricciones, Sistemas de Empujar y Jalar, Logística y muchas otras más. Además de permitir el simulado de acciones, nos enseña como optimizar los procesos en la misma, y así obtener los mejores con el consumo mínimo de recursos, para dicha tarea, el sistema cuenta con 2 optimizadores (<http://www.programasde.com/>, 2008).

### **Stat Fit**

Stat Fit es una herramienta que hace parte del software Promodel. Esta herramienta permite generar valores aleatorios para las variables del modelo y a su vez permite realizar la validación estadística del modelo, definiendo la distribución del conjunto de datos. Para ello utiliza pruebas de ajuste de bondad tales como; Chi Cuadrada, Kolmogorv–Smirnov, Anderson Darling.

### **WinQSB**

Es un sistema interactivo de ayuda a la toma de decisiones que contiene herramientas muy útiles para resolver distintos tipos de problemas, en el campo de la investigación operativa. El sistema está formado por diferentes módulos, uno para cada tipo de modelo o problema ([www.uv.es/martinek/material/WinQSB2.0](http://www.uv.es/martinek/material/WinQSB2.0), 2010)



## **5.2 ANTECEDENTES CONCEPTUALES**

### **5.2.1 Logística y Cadena de Suministros**

Los términos logística y cadena de suministros son cada vez más nombrados en el entorno organizacional. Desde hace varios años las organizaciones han venido trabajando en estos dos conceptos, desarrollando estrategias e integrando cada una de éstas con el fin de obtener ventajas competitivas y mejorar sus índices de eficiencia y productividad. Es claro que la logística viene desempeñando un papel muy importante en la búsqueda de la competitividad.

Según Ballou (1999) la logística es un conjunto de actividades funcionales que son repetidas muchas veces a través del canal, en el que los insumos son convertidos en productos terminados y posteriormente enviados al consumidor. “La administración de la logística empresarial esta popularmente referida como el manejo o administración de la cadena de suministros”. Se empieza entonces a identificar la interrelación entre la logística y la cadena de suministros. (Ballou, 1999)

En ese sentido Guadalupe (2008) plantea que la logística es la Planificación, organización y control de conjuntos de actividades de movimiento y almacenamiento que facilitan el flujo de materiales y productos desde la fuente al consumo, para satisfacer la demanda al menor coste, incluidos los flujos de información y control. Se puede entender entonces como la logística se encarga de proveer productos y servicios a los consumidores de acuerdo con sus necesidades y requerimientos de la manera más eficiente, productos adecuados en el momento adecuado con las características necesarias para satisfacer al cliente. Se identifica la importancia de la logística como la capacidad de crear valor reduciendo costos para satisfacer las necesidades de los clientes, permitiéndole a las empresas encontrar maneras para diferenciar los procesos y alcanzar altos niveles de eficiencia y productividad.

“El valor en la logística puede ser expresado en términos de tiempo y de lugar, ya que los productos o servicios no tiene valor si los clientes no los encuentran en el tiempo y el lugar exacto en el que quieren consumirlos. (Ballou, 1999)

Ballou (1999) plantea que la cadena de suministros es un conjunto de diferentes actividades, cada actividad entendida como un proceso logístico, se deduce entonces que la cadena de suministros es un conjunto de varias actividades; el transporte es una de las actividades logísticas más importantes, ya que absorbe aproximadamente en promedio de un tercio a dos tercios de los costos logísticos; otras actividades logísticas son: administración del inventario, procesamiento de órdenes, almacenamiento, manejo de materiales, empaque, programación de productos, mantenimiento de la información, distribución de productos.

La realización de estas actividades logísticas son la base para cumplir el objetivo de satisfacer al cliente por medio de las diferentes estrategias planteadas, esta planeación de actividades logísticas permite a su vez identificar la forma en que la empresa pretende

controlar cada una de las des logísticas. De esto entonces parte el concepto de cadena de suministros, de la integración de todas las actividades logísticas.

Según Ballou (1999) La cadena de suministros es un conjunto de actividades funcionales (Transporte, control de inventario, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal del flujo, mediante los cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor. Dado que las fuentes de materias primas, las fábricas y los puntos de venta normalmente no están ubicados en los mismos lugares y el canal de flujo representa una serie de pasos de manufactura, las actividades de logística se repiten muchas veces antes de que un producto llegue a su lugar de mercado. Incluso entonces, las actividades de logística se repiten una vez más cuando lo productos usados se reciclan en el canal de la logística pero en sentido inverso. En la figura 1 se identifican las actividades de la cadena de suministros para una empresa.

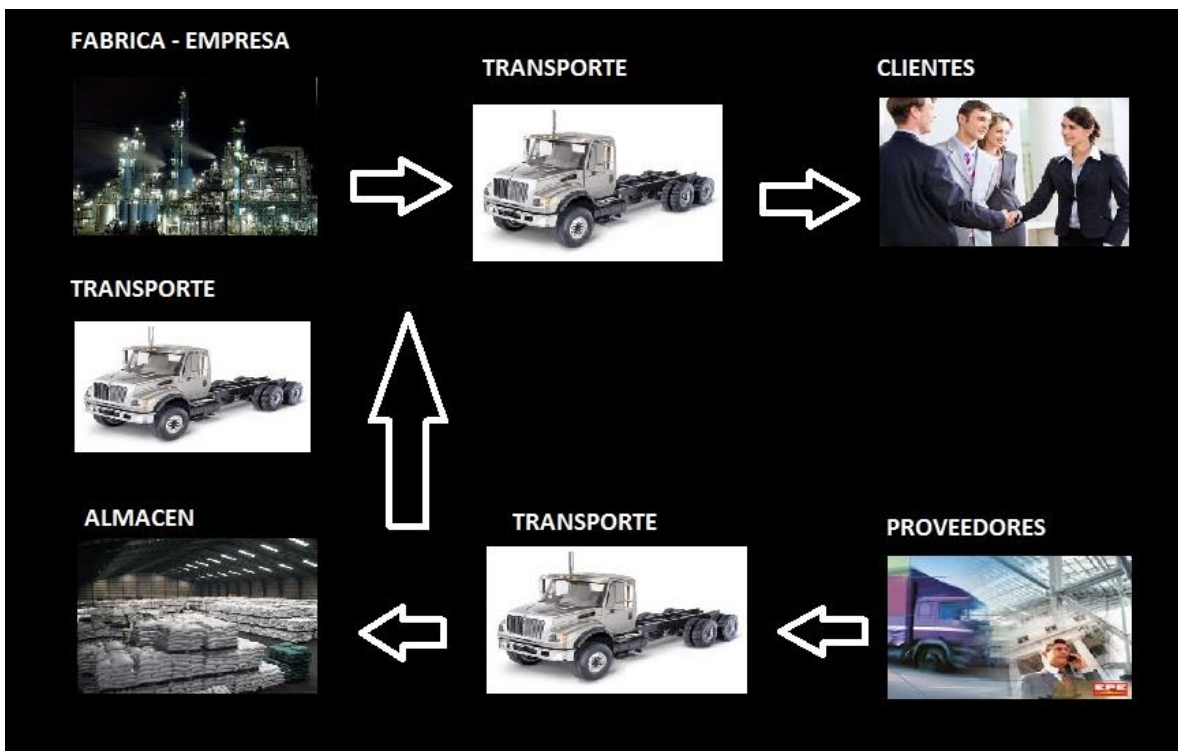


Figura. 1 Cadena de Suministros para una empresa  
(Fuente: creación propia)

En general una empresa no es capaz de controlar todo su canal de flujo de producto desde la fuente de materia prima hasta los puntos de consumo final sin un proceso logístico integrado dentro de una cadena de suministros.

De igual manera Ballou (1999) identifica las actividades detalladas de la logística de la cadena de suministros y estas se pueden observar en la figura 2.

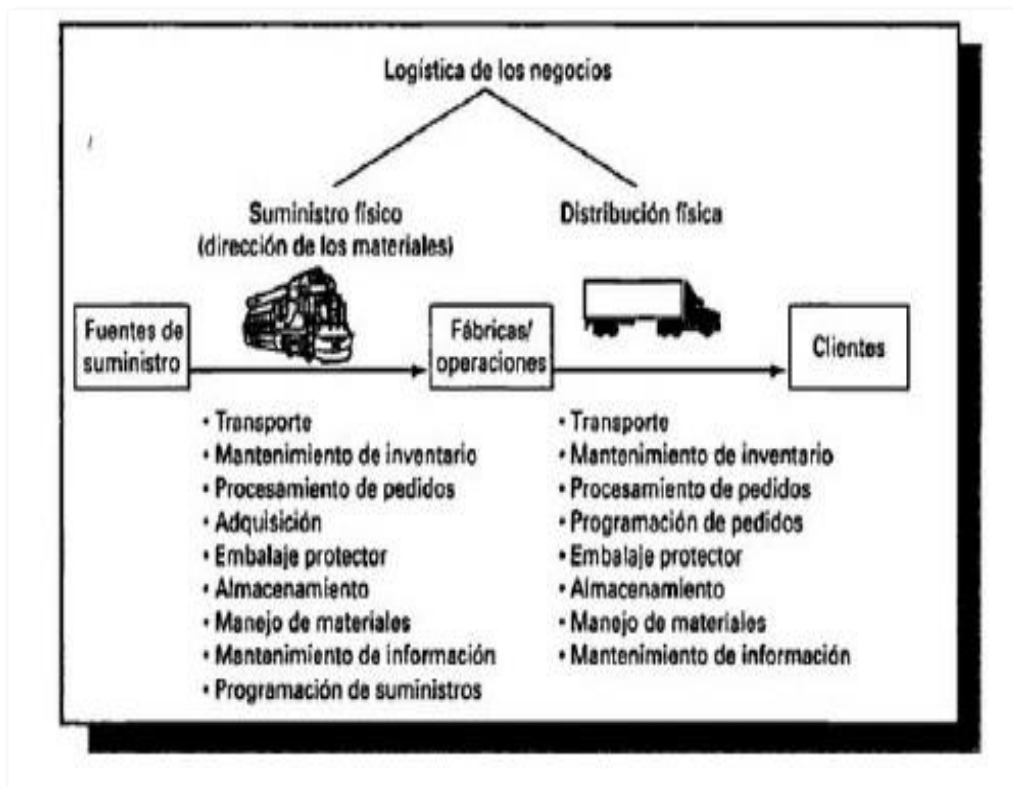


Figura 2. Actividades de la logística en la cadena de suministros inmediata de una empresa  
(Fuente: Tomado de: Ronald Ballou, 2004)

Es la integración de estas actividades la que permite desarrollar una cadena a lo largo del proceso productivo en una organización.

Por otra parte Menguzzato (2009) define la cadena de suministros (*supply chain SC*) como el conjunto de todos los procesos que involucran a los proveedores y sus clientes y conectan empresas desde la fuente inicial de materia prima hasta el conjunto de productos terminados.

Estos conceptos permiten entonces darle un enfoque al proyecto y enmarcarlo dentro de un tema central de investigación. Este enfoque está estructurado en la logística externa de la organización, es decir la caracterización de las actividades asociadas con la recopilación, almacenamiento, distribución y transporte de la materia prima, los rollos textiles.

### 5.2.2 Acerca de Simulación

En los últimos años la simulación ha desempeñado un papel importante para la toma de decisiones en actividades relacionadas con la logística, esta se ha convertido en una herramienta que se ha desarrollado y que ha tenido diferentes aplicaciones en muchas áreas del conocimiento. La importancia de la aplicación de esta herramienta en las cadenas de suministros, es que muchos de los componentes de las operaciones logísticas, están asociados o tienen un gran nivel de incertidumbre, como por ejemplo: la demanda, los tiempos de entrega, los precios de los commodities, los fallos o interrupciones en la cadena de suministro, entre otros. Todos estos componentes que tienen o están asociados con la

incertidumbre se denominan como componentes estocásticos o aleatorios, los cuales deben ser modelados de una manera especial.

La Simulación se constituye en una herramienta importante para la representación real del modelo de ruteo logístico de una empresa, permitiendo ajustar cambios y dar un mejor aprovechamiento de los recursos.

Así Rivero & Piedrahita (2003) define que la simulación permite analizar la totalidad del sistema y buscar las interrelaciones de sus subsistemas.

Carson (2003) Afirma que un Modelo de Simulación es un modelo descriptivo de un proceso o sistema, que usualmente incluye parámetros para representar diferentes configuraciones del sistema o proceso. Además, dice que el Modelo de Simulación se puede usar para experimentar, evaluar y comparar muchos sistemas alternativos. Estas tres, afirma, son las razones claves para hacer simulación, y sus principales resultados son la predicción del rendimiento y la identificación de los problemas del sistema.

En este proyecto se propone una simulación de un modelo logístico, con el fin de identificar los procesos, describiéndolos y caracterizándolos, obteniendo así un prototipo de una representación real del ruteo logístico interno de la empresa

Así mismo se puede identificar la simulación como el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema.

### 5.2.3 Procesos de Simulación

Para llevar a cabo un modelo de simulación se plantean diferentes pasos según Coss (2003)

1. **Definición del sistema.** Para tener una definición exacta del sistema que se desea simular, es necesario hacer primeramente un análisis preliminar del mismo, con el fin de determinar la interacción del sistema con otros sistemas, las restricciones del sistema, las variables que interactúan dentro del sistema y sus interrelaciones, las medidas de efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema y los resultados esperados del estudio.
2. **Formulación del modelo.** Una vez que están definidos con exactitud los resultados esperados del estudio, el siguiente paso es definir y construir el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de éste, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa al modelo.
3. **Colección de datos.** Es posible que la facilidad o dificultad de obtención de algunos datos, pueda influenciar el desarrollo y formulación del modelo. Por consiguiente, es muy importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo

va a requerir para producir los resultados deseados. Normalmente, la información requerida por un modelo se puede obtener de registros contables, de órdenes de trabajo, de órdenes de compra, de opiniones de expertos y si no hay otra alternativa por experimentación.

4. **Implementación del modelo en la computadora.** Con el modelo definido, el siguiente paso es decidir si se utiliza algún lenguaje como fortran, Basic, algol, etc., o se utiliza algún paquete como GPSS, simula, simscript, promodel, simul8, Arena etc., para procesarlo en la computadora y obtener los resultados deseados.
5. **Validación.** Una de las principales etapas de un estudio de simulación es la validación .A través de esta etapa es posible detallar deficiencias en la formulación del modelo o en los datos alimentados al modelo.
6. **Experimentación.** La experimentación con el modelo se realiza después de que éste ha sido validado. La experimentación consiste en generar los datos deseados y en realizar análisis de sensibilidad de los índices requeridos.
7. **Interpretación.** Es obvio que los resultados que se obtienen de un estudio de simulación ayudan a soportar decisiones del tipo semi-estructurado, es decir, la computadora en sí no toma la decisión, sino que la información que proporciona ayuda a tomar mejores decisiones y por consiguiente a obtener mejores resultados de forma sistemática.
8. **Documentación.** Dos tipos de documentación son requeridos para hacer un mejor uso del modelo de simulación. La primera se refiere a la documentación de tipo técnico, es decir, a la documentación que el departamento de Procesamiento de Datos debe tener del modelo. La segunda se refiere al manual del usuario, con el cual se facilita la interacción y el uso del modelo desarrollado, a través de una terminal de computadora.

#### 5.2.4 Ventajas de la simulación.

La Técnica de la simulación es una de las herramientas más ampliamente usadas en el análisis de sistemas. Algunas de las ventajas según Coss (2003) son:

- A través de un estudio de simulación se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema, al hacer alteraciones en el modelo y observando los efectos de esas alteraciones.
- Una observación detallada del sistema que se esté simulando, puede conducir a un mejor entendimiento del sistema y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia del sistema.

- La simulación de sistemas complejos puede ayudar a entender mejor la operación del sistema, detectando las variables más importantes que interactúan en el sistema, entendiendo las interrelaciones entre dichas variables.

La simulación se presenta como una herramienta importante para las operaciones logísticas, una herramienta que ayuda en la toma de decisiones, formalizando la experiencia y el conocimiento, con el fin de identificar y evaluar las mejores estrategias en búsqueda al alcanzar los objetivos. Esta herramienta permite predecir el comportamiento de los sistemas bajo diversas situaciones reales o previsibles, también proporciona la capacidad de poder analizar las posibles alternativas en la optimización de nuestro sistema logístico.

En la actualidad la mayor parte de las organizaciones, empresas y procesos productivos han crecido en complejidad y han visto aumentado los requerimientos de competitividad, flexibilidad y calidad en sus actividades. Por ello han debido innovar y adaptarse a los constantes cambios provocados por su pertenencia a un mercado cada vez más global, necesitando para esto la utilización de herramientas como la simulación, que ofrecen una plataforma que permite abordar con éxito un proceso de mejora de sistemas complejos

#### 5.2.5 Definiciones de Simulación para la construcción de un modelo.

- **Modelo:** Es una representación simplificada de un sistema, construido con el propósito de estudiarlo, donde son considerados los aspectos que afectan al problema de estudio y debe ser lo suficientemente detallado para obtener conclusiones que apliquen al sistema real.
- **Sistema:** Colección de entes que actúan o interactúan para la consecución de un determinado fin. Dados los objetivos del estudio del sistema, generalmente se condiciona el conjunto total de entidades a ser evaluadas.
- **Estado:** Determinado por el conjunto de variables o parámetros necesarios utilizados para describir el sistema en cualquier instante temporal, en relación con los objetivos del estudio.
- **Evento:** Suceso instantáneo que puede cambiar el estado del sistema.
- **Entidad:** Representación de los flujos de entrada a un sistema.
- **Localizaciones:** Todos aquellos lugares en los que la pieza puede detenerse para ser transformada o esperar a serlo.
- **Recursos:** Dispositivos necesarios para llevar a cabo una operación.
- **Atributo:** Características de una entidad.

- **Variables:** Condiciones cuyos valores se crean modifican por medio de ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas.

### 5.2.6 Pruebas de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste proporcionan una orientación útil para evaluar la idoneidad de un posible modelo de entrada, comparando los resultados aleatorios contra un modelo de función de probabilidad conocida para garantizar una suposición que permita utilizar un modelo más complejo de análisis.

Estas pruebas calculan las diferencias de ajuste entre la teoría y los resultados muestrales. Si la diferencia es grande se rechazará la hipótesis nula y viceversa, determinando de esta manera si la distribución muestral de los datos se ajustan o no al modelo teórico.

### 5.2.7 Acerca de Optimización.

La modelación matemática con el objetivo de optimizar determinados factores ha adquirido en los últimos años gran importancia dentro del mundo empresarial. En una organización siempre se está buscando optimizar los recursos con el fin de maximizar las ganancias y maximizar los indicadores de gestión dentro del marco del desarrollo organizacional.

### 5.2.8 Investigación de Operaciones

Según Taha (2004) la investigación de operaciones es una herramienta dominante e indispensable para la toma de decisiones en cualquier desarrollo estructural y organizacional. Un modelo principal de la investigación de operaciones es el modelo matemático. Aunque la solución del modelo matemático establece una base para tomar una decisión, se deben tener en cuenta factores intangibles o no cuantificables, por ejemplo el comportamiento humano, para poder llegar a una decisión final. En la investigación de operaciones hay diferentes técnicas que permiten resolver los modelos, entre estas técnicas están;

- Programación lineal, esta se diseña para modelos con una función objetivo y una serie de restricciones estrictamente lineales.
- Programación entera, en esta las variables toman valores enteros.
- Programación dinámica, en esta técnica el modelo original se puede descomponer en subproblemas más pequeños.
- Programación de red, en esta el modelo se puede modelar como una red.
- Programación no lineal, en la que las funciones del modelo son no lineales.

Estas técnicas mencionadas no son más que una lista parcial de la gran cantidad de herramientas disponibles en la investigación de operaciones.

Para Taha (2004) existe una peculiaridad en la mayor parte de las técnicas de investigación de operaciones y es que en general las soluciones no se obtienen en formas cerradas, es decir, parecidas a fórmulas, en lugar de ello se determinan mediante algoritmos. Un algoritmo proporciona reglas fijas de cómputo que se aplican en forma repetitiva al problema

y cada repetición llamada (iteración) obtiene una solución cada vez más cercana a la óptima. Algunos modelos matemáticos pueden ser tan complicados que es imposible encontrar la solución con cualquiera de los algoritmos de optimización, en esos casos no se busca la solución óptima sino una solución buena usando heurísticas o reglas simples.

En este orden de ideas Taha (2004) plantea que un estudio de investigación de operaciones se basa en la labor de equipo en donde los analistas y el cliente trabajan en conjunto. Como herramienta en la toma de decisiones la investigación de operaciones es una ciencia y un arte. Es una ciencia por las técnicas matemáticas que presenta y es un arte porque el éxito de todas las fases del modelo depende mucho de la creatividad y la experiencia del equipo de investigación de operaciones.

En la resolución de un modelo matemático se deben definir diferentes fases que marcan el proceso que se lleva a cabo para la solución del modelo, fases que en general van desde la definición del modelo hasta la validación del mismo. En la investigación de operaciones se tienen diferentes fases definidas según Taha (2004), las cuales identifican las actividades que se realizan para la resolución de un modelo, estas fases son fundamentales y permiten darle un enfoque claro al modelo, estas fases son:

- **La definición del problema.** Implica definir el alcance del problema que se va a resolver, esta definición permitirá definir tres elementos fundamentales; la descripción de las alternativas de decisión; la determinación del objetivo del estudio; las especificación de las limitaciones bajo las cuales funciona el sistema modelado.
- **La construcción del modelo.** Implica traducir la definición del problema a relaciones matemáticas, si el modelo que resulte se ajusta a uno de los modelos matemáticos normales como puede ser la programación lineal, se puede llegar a una solución empleando los algoritmos disponibles, si el modelo es más complejo se puede simplificar y usar un modelo heurístico.
- **La solución del modelo.** Es una de las fases más sencillas de la investigación de operaciones, porque supone el uso de algoritmos de optimización bien definidos. Una parte importante en esta fase es el análisis de sensibilidad, tienen que ver con la obtención de la información adicional sobre el comportamiento de la solución óptima cuando el modelo sufre ciertos cambios de parámetros. Se necesita el análisis de sensibilidad cuando no se pueden estimar con exactitud los parámetros del modelo.
- **La validación del modelo.** Comprueba si el modelo propuesto hace lo que se quiere que haga. El modelo es válido si bajo condiciones de datos semejantes, reproduce le funcionamiento en el pasado, además el modelo tiene sentido si se pueden aceptar intuitivamente los resultados.



- **La implementación.** La implementación de un modelo válido implica la traducción de los resultados a instrucciones de operación, emitidas en forma comprensible para las personas que administrarán al sistema recomendado.

Estas fases no son solo aplicables a la investigación de operaciones, en realidad son esenciales para resolver cualquier problema matemático.

### 5.2.9 Programación Lineal

Según Quintas (2012) La programación lineal es una de las técnicas de modelación dentro de la investigación de operaciones especialmente utilizada para la planeación óptima y para la toma de decisiones. Se emplea para problemas de planeación de la producción, la utilización en el uso de los recursos humanos y materiales de la organización, en la optimización de los recursos financieros con el objetivo de maximizar las ganancias y minimizar los costos dentro del desarrollo estructural del negocio.

En todos los problemas de este tipo hay una estructura común, se requiere optimizar un objetivo sujeto a algunas restricciones, por supuesto todas estas condiciones se deben expresar linealmente, esta estructura común es el modelo de la programación lineal.

La forma del modelo es la siguiente:

$$\text{Max (Min): } C_1X_1 + C_2X_2\dots + C_iX_i$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

- $a_{11}X_1 + a_{12}X_2\dots + a_{1i}X_i \leq b_1$
- $a_{21}X_1 + a_{22}X_2\dots + a_{2i}X_i \leq b_2$                        $X_i \geq 0$
- $a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2\dots + a_{ni}X_i \leq b_n$

Las incógnitas del problema son las  $X_i$ , llamadas variables de decisión, la primera ecuación es la FO (función objetivo). Dado que se trata de problemas de optimización, en donde se busca encontrar el valor máximo o el valor mínimo de aquello que se quiere optimizar, los coeficientes  $C_i$  indican la colaboración por cada unidad de la variable  $X_i$ , a la FO, podría considerarse que es el costo por unidad.

### 5.2.10 Modelo de Transporte

Según Taha (2004) un modelo de transporte es una clase especial de programación lineal que tiene que ver con transportar un elemento desde sus fuentes, hasta sus destinos. El objetivo es determinar el programa de transporte que minimice el costo total de transporte y que al mismo tiempo satisfaga los límites de la oferta y la demanda. En el modelo se supone que el costo de transporte es proporcional a la cantidad de unidades transportadas en determinada ruta. En general se puede ampliar el modelo de transporte a otras áreas de operación, entre otras el control de inventarios, programación de empleos y asignación de personal. Aunque el modelo de transporte se puede resolver como una programación lineal

normal, su estructura especial permite desarrollar un algoritmo de cómputo basado en el simplex, que usa las relaciones primal–dual para simplificar los cálculos.

En la Figura 3 se puede observar la descripción de un modelo de transporte en donde se definen  $m$  orígenes y  $n$  destinos.

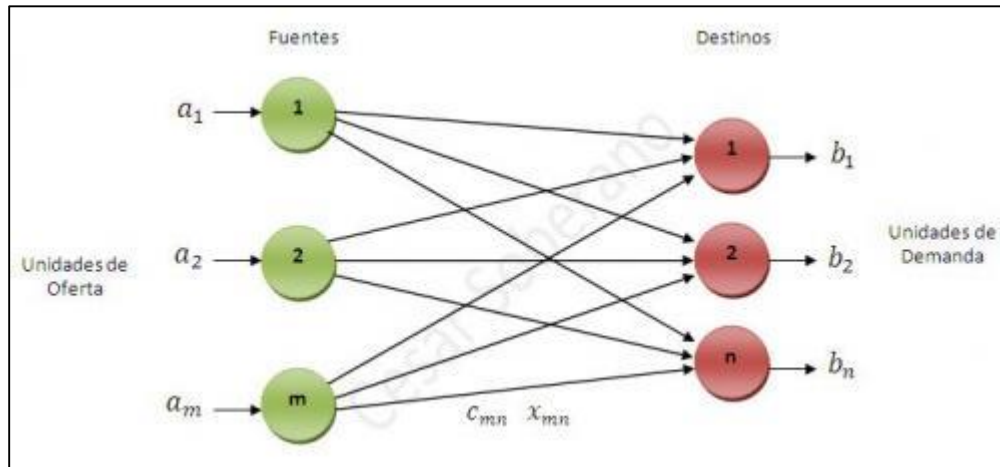


Figura 3. Modelo de transporte

Tomada de <http://investigaciondeoperacionesind331.blogspot.com/p/metodo-de-transporte.html>

### 5.2.11 Acerca de WINQSB

WINQSB es una aplicación versátil que permite la solución de una gran cantidad de problemas: administrativos, de producción, de recurso humano, dirección de proyectos, etc. Debido a su facilidad y potencia de manejo, es una herramienta importante para el desarrollo de diferentes modelos matemáticos en la investigación operativa, el sistema está formado por diferentes módulos, uno para cada tipo de modelo o problema, estos módulos son:

- Análisis de muestreo de aceptación
- Planeación agregada
- Análisis de decisiones
- Programación dinámica
- Diseño y localización de plantas
- Pronósticos
- Programación por objetivos
- Teoría y sistemas de inventarios
- Programación de jornadas de trabajo
- Programación lineal y entera
- Procesos de
- Planeación de Requerimiento de
- Modelación de redes
- Programación no lineal
- PERT y CPM (PERT\_CPM)

- Programación cuadrática
- Cartas de control de calidad
- Sistemas de cola
- Simulación de sistemas de cola

### 5.3 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Respecto a los estudios ya realizados, Hernandez & Alvarez (2012) desarrollaron un caso en el sector tabacalero implementado en la ciudad de Medellín, en el año 2012, a la empresa Coltabaco S.A, mostrando un “Modelo para simulación logística” en dicha empresa; el estudio tuvo como eje principal el desarrollo de una visión holística de cada uno de los procesos que afectan la buena ejecución de la producción en sí, haciendo un modelamiento el cual “controlaría” de alguna manera dichos procesos a raíz de la simulación previamente realizada, en cuanto a los procesos que se cubrieron con este modelamiento fueron;

- La llegada de la materia prima,
- El descargue del camión
- El transporte de la materia prima a producción
- El desconsolidado de las cajas; en los cuales se contó con datos requeridos, como son los tiempos de operación y los recursos empleados.

Este proceso se ejecutó en varias etapas o fases como: Revisión de la información, los procesos de la empresa, y la caracterización de los procesos logísticos. Para realizar el modelo en el software (ARENA) se consideraron 3 variables importantes que fueron: Entidades, Recursos y Locaciones.

Así mismo Echeverri (2010) realizó una Modelización de una cadena de abastecimiento para el sector Textil-Confección en el entorno Colombiano utilizando una dinámica de sistemas. El autor optó por hacer una investigación basándose en una plataforma de simulación mediante el modelamiento previo de la cadena de suministros, contando con información de primera mano de fuentes gubernamentales y públicas; aunque esta temática se abordó desde una perspectiva generalizada del sector y su aplicabilidad es muy variada, en este caso de estudio e investigación se aplicó en la empresa NADAR S.A en la ciudad de Medellín (dedicada a la confección, distribución y comercialización de los productos de la marca *Speedo®* en todo el país y para el exterior) con el siguiente procedimiento:

1. Realización de entrevistas y encuestas con expertos en la cadena textil confección
2. Modelación de la cadena de suministro, con dinámica de sistemas, y con la utilización del software *Ithink®* como herramienta de simulación.
3. Análisis de diferentes escenarios, buscando políticas y parámetros que permitieron entender mejor la cadena de abastecimientos
4. Análisis de resultados obtenidos
5. Conclusiones, que sirvieron de apoyo para la toma de decisiones en dicha empresa.

Por otro lado, García (2006), realizó una simulación de una cadena de suministro en el área farmacéutica, específicamente en la empresa PROULA, Medicamentos, ubicada en la

ciudad de Mérida, Venezuela; el objetivo de este trabajo fue el estudio de las cadenas de suministro bajo un esquema de simulación de operaciones, con el fin de llevar a cabo escenarios en donde se puedan incorporar los puntos claves que la identifican y que permitan lograr la integración de todos sus componentes. En una primera fase se simuló el desarrollo normal y actual de operaciones, y en una segunda fase se simuló la misma cadena pero bajo los supuestos de aplicación que identifican el enfoque de gestión de Cadenas de Suministro. La metodología que se utilizó se encuentra enmarcada dentro los estudios de campo de observación estructurada, y de técnicas de simulación empleadas para el análisis comparativo; entre los análisis que se lograron hacer a raíz de la obtención de resultados que arrojaron dicha simulación, se obtuvieron y resaltaron una serie de variables claves que afectan directamente la cadena y la variabilidad de la demanda.

La conclusión general a la que se pudo llegar luego de estos estudios y variedad de análisis en cuanto a resultados obtenidos y los escenarios planteados para la simulación, fue la gran diversidad de cadenas de suministros que se encuentran en un determinado entorno económico. También lo son las diferentes políticas que los directivos involucrados pudiesen estar llevando a cabo con el fin de alcanzar sus objetivos eficientemente. Todo en un marco organizacional cuya idiosincrasia y limitaciones de diferentes índole, pudiesen afectar un determinado proyecto de integración.

En conclusión podemos ver que en los anteriores estudios ya realizados, cómo el aprovechamiento de las distintas herramientas y conceptos implicados e implementados, son de vital ayuda para un buen enfoque y dándole siempre el correcto manejo a la información; también podemos decir que la simulación es una herramienta que nos puede facilitar la forma de entender, analizar y recolectar información al momento del planteamiento de una variedad de escenarios ya sea partiendo de los estados actuales como hipotéticos y la elaboración de un escenario óptimo enmarcado en una metodología eficiente que ayude a lograr los objetivos claros y las metas que la empresa tiene estipuladas desde el principio, es decir, sin hacer cambios estructurales relevantes que puedan influir en la calidad y la concepción de los productos establecidos de la empresa, desde su razón social hasta la satisfacción que se genere a los clientes finales.

## 6. DIAGNÓSTICO EMPRESARIAL

El siguiente diagnóstico fue producto de un cuestionario hecho a los encargados de los procesos logísticos y de comercialización (gerencia), con el objetivo de saber en qué posición se encuentra la organización y los aspectos de mayor impacto al interior de ésta.

Se tuvieron en cuenta tres tipos de gestión: gestión gerencial, gestión financiera y gestión administrativa.

Los componentes de éstos tipos de gestión, se estructuraron basados en estudios previos de las áreas medulares de cada proceso, ya que interfieren permanentemente en los procesos misionales, visionales y de apoyo de la organización, estos hacen énfasis a una gestión empresarial gerencial, y de manejo de información.

Tabla 1. Diagnóstico empresarial – Gestión gerencial

| DIAGNOSTICO EMPRESARIAL |                                                                                                                         |         |                |               |       |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------|---------------|-------|
| No.                     | GESTION GERENCIAL                                                                                                       | SIEMPRE | OCASIONALMENTE | ALGUNAS VECES | NUNCA |
| 1                       | La empresa cuenta con direccionamiento estratégico                                                                      |         |                | X             |       |
| 2                       | Hay esfuerzos constantes por un control de procesos                                                                     |         |                |               | X     |
| 3                       | Existe una persona encargada de gestionar el cumplimiento de los objetivos organizacionales                             |         |                |               | X     |
| 4                       | Existe un constante flujo de información entre los accionistas para la toma de decisiones                               |         |                |               | X     |
| 5                       | La toma de decisiones está basada en alguna herramienta de investigación y monitoreo constante del mercado y el sector. |         | X              |               |       |
| <b>TOTALES</b>          |                                                                                                                         | 0%      | 20%            | 20%           | 60%   |

Tabla 2. Diagnóstico empresarial – Gestión financiera

| No.            | GESTION FINANCIERA                                                               | SIEMPRE | OCASIONALMENTE | ALGUNAS VECES | NUNCA |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------|---------------|-------|
| 1              | Existe un sistema de contabilidad estructurado                                   |         |                |               | X     |
| 2              | Existe gestión documental en los procesos financieros                            |         |                | X             |       |
| 3              | Hay alguna persona encargada del manejo de los recursos económicos de la empresa |         | X              |               |       |
| 4              | Existen herramientas de gestión financiera en la organización                    |         |                |               | X     |
| 5              | Los acuerdos con proveedores se hacen en forma directa                           |         |                |               | X     |
| <b>TOTALES</b> |                                                                                  | 20%     | 20%            | 20%           | 60%   |

Tabla 3. Diagnóstico empresarial – Gestión Administrativa

| No.     | GESTION ADMINISTRATIVA-RECURSOS HUMANOS-PRODUCCION Y CALIDAD     | SIEMPRE | OCASIONALMENTE | ALGUNAS VECES | NUNCA |
|---------|------------------------------------------------------------------|---------|----------------|---------------|-------|
| 1       | Existe un sistema estandarizado de producción                    |         |                |               | X     |
| 2       | Hay sistema de software para la gestión y control de inventarios |         |                |               | X     |
| 3       | Existe alguna plataforma para el seguimiento de la demanda       |         |                | X             |       |
| 4       | La empresa cuenta con sistemas de gestión                        |         |                |               | X     |
| 5       | Los registros contables se hacen de manera permanente            |         |                | X             |       |
| TOTALES |                                                                  | 0%      | 0%             | 40%           | 60%   |

Con el anterior diagnóstico, pudimos ver que la organización se encuentra en proceso de crecimiento, por lo que su estructura y la gestión de sus procesos no están bien definidas, esto con relación a su desarrollo organizacional. Se está haciendo un esfuerzo en la implementación de herramientas y sistemas que ayuden a organizar los componentes que tienen algún impacto directo con el cumplimiento de sus metas a corto, mediano y largo plazo, es por esto que la ejecución de este proyecto de simulación logística se convierte en una poderosa fuente de información para la organización con el fin de mejorar la toma de decisiones con el objetivo de optimizar sus indicadores de gestión.

Por otra parte es importante resaltar que la carencia de una buena gestión de la información, lo que se evidencia en el diagnóstico, puede afectar el buen funcionamiento y la estabilidad de la organización en el tiempo ya que la documentación de los procesos y actividades de la organización es fundamental para su desarrollo estructural y funcional.

## 7. DESARROLLO INVESTIGATIVO Y ESTRUCTURAL

### 7.1 Descripción Logística del Proceso

La materia prima es fabricada en China, la compra es realizada previamente para su posterior cargue en contenedores para su envío al puerto de Cartagena en Colombia mediante vía marítima en navíos los cuales pueden variar en cuanto a capacidad de carga y con esto afectando el tiempo de recorridos entre los dos países. Luego de la llegada a puerto en territorio nacional, es descargada del navío y es puesta en puerto hasta su posterior cargue en tracto mula para empezar el recorrido terrestre hacia la ciudad de Bogotá, los rollos textiles deben ser nacionalizados pagando los impuestos correspondientes para que sea legal ante las entidades reguladoras de este tipo de productos y materiales en el país.

La materia prima llega a la empresa C&M en la ciudad de Bogotá, en la cual se encuentran actualmente las bodegas en las que se va a almacenar; el proceso de descargue se hace de manera manual entre varias personas.

Luego del almacenamiento, se hace su posterior venta y distribución a diferentes ciudades del país según la demanda, como lo son las ciudades de Manizales, Pereira, Bogotá y Medellín.

### MATERIA PRIMA (FIBRA TEXTIL)



Figura 4. Rollos Textiles

## DIAGRAMA DEL PROCESO LOGÍSTICO

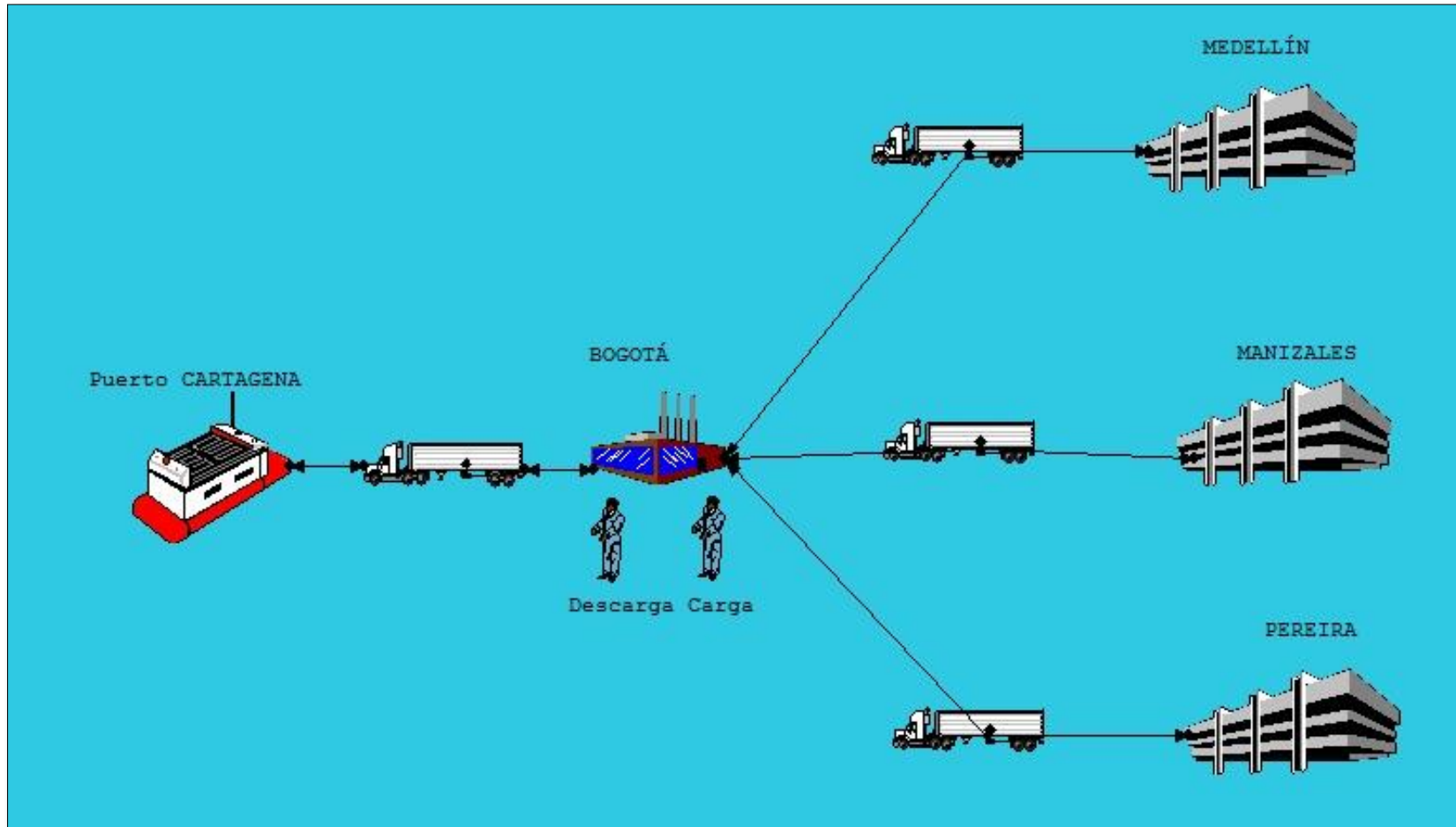


Figura 4. Diagrama logístico – Creación Propia en Promodel



Este es diagrama del proceso logístico que se lleva a cabo, las actividades son;

- Recepción de la materia prima, la fibra textil, en el puerto en Cartagena
- Transporte a la ciudad de Bogotá, en donde se almacena.
- Despacho a las 3 ciudades nodo, Manizales, Medellín y Pereira. La fibra textil

## 7.2 Descripción de tiempos

Para los tiempos se tienen unos históricos de cada una de las operaciones que se realizan en cada punto del proceso logístico, se cuenta con 3 variables, que son el tiempo de carga, el tiempo de descarga y el tiempo de recorrido entre cada nodo.

### HISTÓRICOS

Tabla 4. Tiempos Históricos

| TC1  | TR1 | TD1 | TC2 | TR2 | TD2 | TC3 | TR3 | TD3 | TC4 | TR4 | TD4 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 11   | 720 | 486 | 12  | 600 | 350 | 10  | 660 | 390 | 6   | 660 | 300 |
| 9,8  | 600 | 481 | 8   | 540 | 320 | 11  | 720 | 370 | 8   | 600 | 360 |
| 10,5 | 840 | 492 | 9   | 660 | 310 | 13  | 630 | 385 | 9   | 690 | 300 |
| 10,9 | 660 | 490 | 10  | 480 | 315 | 12  | 690 | 410 | 5   | 780 | 330 |

TC: Tiempo de Carga - TR: Tiempo de recorrido – TD: Tiempo de descargue

TC1 Cartagena

TR1 Cartagena - Bogotá

TD1 Bogotá

TC2 Bogotá - Manizales

TR2 Bogotá - Manizales

TD2 Manizales

TC3 Bogotá - Medellín

TR3 Bogotá - Medellín

TD3 Medellín

TC4 Bogotá - Pereira

TR4 Bogotá - Pereira

TD4 Pereira

TIEMPO: minutos

DISTANCIA: kilómetros

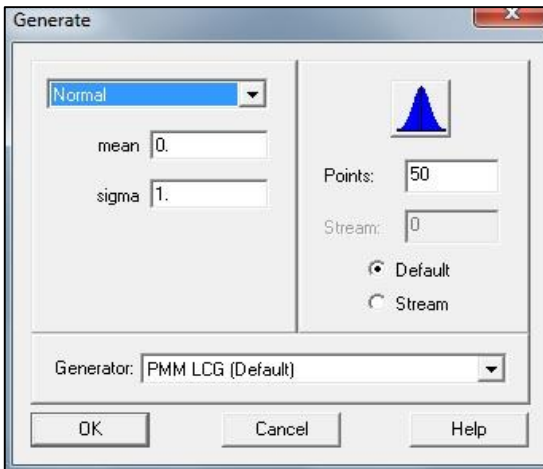
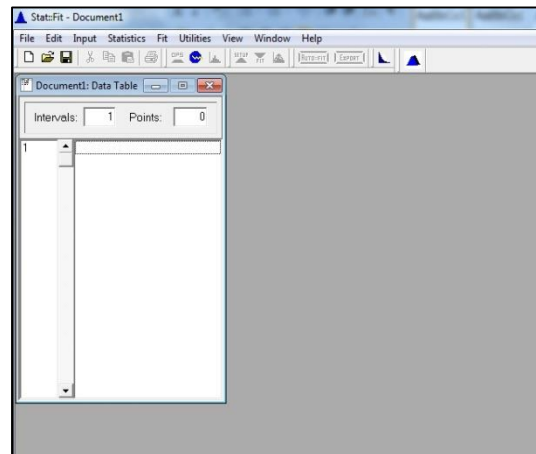
- D1 Puerto – Bogotá: 511 kilómetros
- D2 Bogotá – Manizales: 302 kilómetros
- D3 Bogotá – Medellín: 443 kilómetros
- D4 Bogotá – Pereira: 319 kilómetros

### 7.3 Generación y Validación Estadística de los datos

Para la construcción del modelo de simulación se debe contar con un mínimo de 30 datos por cada variable para cada operación, Para este proyecto solo se cuenta con un histórico de 4 datos por cada variable, por lo tanto se deben generar los otros datos y para esto se hace uso de la herramienta STAT FIT del programa PROMODEL, en donde además de generar los datos, se validan para asegurar que éstos sigan algún tipo de distribución.

El procedimiento es el siguiente.

- Para cada serie de datos se identifica su media y su desviación estándar, esto para asegurar que los datos sigan una distribución normal.
- Se introducen las variables en la herramienta Stat Fit
- Se identifica la media y la desviación estándar y se generan las variables necesarias.
- Se validan los datos por medio de la opción autofit y la descripción estadística.
- Este proceso se realiza para cada serie de datos de cada operación, con el fin de generar las variables necesarias para la construcción del modelo.
- Se hizo una simulación bajo una distribución normal con la media y varianza identificadas a partir de los datos existentes



#### 7.4 Determinación del tipo de distribución del conjunto de datos

Para la determinación del tipo de distribución del conjunto de datos se realizan las pruebas de bondad de ajuste, las cuales validan que en efecto los datos generados en Stat-Fit provienen de una distribución normal, como era de esperarse por la anterior generación, ya que el valor P para cada una de las pruebas es mayor al 5% (0,05). Para el análisis de la distribución de los datos, se utilizaron las pruebas Kolmogorv-Smirnov y Anderson Darling.

##### Validación de los Datos Estadísticos

Tabla 5. Datos estadísticos

|                       | Tipo de distribución | Media  | Desviación Estándar | Valor P Kolmogorv-Smirnov | Valor P Anderson Darling |
|-----------------------|----------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------------------------|
| TC Cartagena          | Normal               | 10,55  | 0,5446              | 0,168                     | 0,128                    |
| TR Cartagena - Bogotá | Normal               | 705    | 102,469             | 0,469                     | 0,623                    |
| TD Bogotá             | Normal               | 487,25 | 4,8562              | 0,47                      | 0,414                    |
| TC Bogotá - Manizales | Normal               | 9,75   | 2,916               | 0,452                     | 0,526                    |
| TR Bogotá - Manizales | Normal               | 570    | 77,459              | 0,469                     | 0,508                    |
| TD Manizales          | Normal               | 323,75 | 17,9698             | 0,771                     | 0,742                    |
| TC Bogotá - Medellín  | Normal               | 11,5   | 1,290               | 0,47                      | 0,508                    |
| TR Bogotá - Medellín  | Normal               | 675    | 38,729              | 0,469                     | 0,508                    |
| TD Medellín           | Normal               | 388,75 | 16,5201             | 0,113                     | 0,234                    |
| TC Bogotá - Pereira   | Normal               | 7      | 1,825               | 0,47                      | 0,502                    |
| TR Bogotá - Pereira   | Normal               | 682,5  | 75                  | 0,47                      | 0,605                    |
| TD Pereira            | Normal               | 322,5  | 28,722              | 0,47                      | 0,621                    |

Según los resultados que aparecen en la tabla los datos de cada variable siguen una distribución normal, ya que los valores de P para cada prueba son mayores a 0,05.

## 8. SIMULACIÓN EN PROMODEL

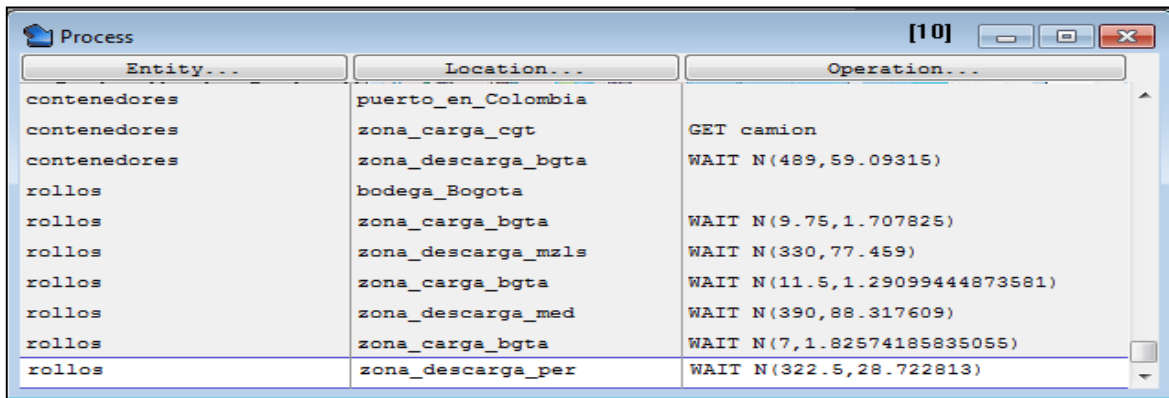
### 8.1 Mapa de Procesos

#### 8.1.1 Procesos (Processing)

Los procesos utilizados e ingresados a la sección Processing de la herramienta Promodel® fueron:

- Llegada al puerto en Colombia
- Llegada zona de carga a Cartagena
- Llegada zona de descarga en Bogotá
- Zona de carga Bogotá
- Zona de descarga Manizales
- Zona de descarga Medellín
- Zona de descarga Pereira.

(Los tiempos y tipos de distribución que sigue cada uno de los procesos descritos se ilustran en la tabla 5.)



| Entity...    | Location...        | Operation...                  |
|--------------|--------------------|-------------------------------|
| contenedores | puerto_en_Colombia |                               |
| contenedores | zona_carga_cgt     | GET camion                    |
| contenedores | zona_descarga_bgta | WAIT N(489,59.09315)          |
| rollos       | bodega_Bogota      |                               |
| rollos       | zona_carga_bgta    | WAIT N(9.75,1.707825)         |
| rollos       | zona_descarga_mzls | WAIT N(330,77.459)            |
| rollos       | zona_carga_bgta    | WAIT N(11.5,1.29099444873581) |
| rollos       | zona_descarga_med  | WAIT N(390,88.317609)         |
| rollos       | zona_carga_bgta    | WAIT N(7,1.82574185835055)    |
| rollos       | zona_descarga_per  | WAIT N(322.5,28.722813)       |

Figura 5. Procesos utilizados en Promodel® escenario actual

#### 8.1.2 Entidades (Entities)

Para este modelo utilizamos dos entidades que fueron: “contenedores” y “Rollo”. Los contenedores representan la mercancía embalada y transportada desde el puerto de China, y los Rollos representan la mercancía ya descargada y lista para su distribución hacia las diferentes ciudades propuestas en el modelo.

Las gráficas que utilizamos para representar las entidades fueron:

Contenedores:



Figura 6. Contenedores

Fuente: <http://icontainersperu.blogspot.com/2011/04/que-es-un-contenedor.html>

Rollos:



Figura 7. Rollos

### 8.1.3 Recursos (Resources)

Los recursos que utilizamos fueron: camión, camión\_1, camión\_2 y camión\_3; los camiones son los encargados del transporte tanto del contenedor que llega a puerto, para su traslado a la zona de descargue en Bogotá, y la distribución a las otras ciudades luego de ser descargada del contenedor.

| Icon | Name     | Units | DTs... | Stats   | Specs...                | Search... | Logic... | Pts... |
|------|----------|-------|--------|---------|-------------------------|-----------|----------|--------|
|      | camion   | 1     | None   | By Unit | recorrido_1, N1, R None | 0         |          | 1      |
|      | camion_1 | 1     | None   | By Unit | recorrido_2, N1, R None | 0         |          | 1      |
|      | camion_2 | 1     | None   | By Unit | recorrido_3, N1, R None | 0         |          | 1      |
|      | camion_3 | 1     | None   | By Unit | recorrido_4, N1, R None | 0         |          | 1      |

Figura 8. Recursos utilizados en Promodel® escenario actual

### 8.1.4 Locaciones (Locations)

Se crearon 13 locaciones, las cuales son la representación del proceso logístico de la importación de un contenedor de tela desde China hacia Colombia, su llegada al país, transporte interno y su posterior distribución a las ciudades de Manizales y Medellín.

Las locaciones utilizadas fueron:

1. Puerto\_en\_China
2. Puerto\_en\_Colombia
3. Bodega\_bogota
4. Medellin
5. Manizales
6. Pereira
7. Zona\_carga\_ctg
8. Zona\_carga\_bgta
9. Zona\_descarga\_bgta
10. Zona\_descarga\_mzls
11. Zona\_descarga\_medellin
12. Zona\_descarga\_pereira

| Icon | Name               | Cap. | Units | DI's... | Stats       | Rules... |
|------|--------------------|------|-------|---------|-------------|----------|
|      | puerto_en_China    | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | puerto_en_Colombia | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | bodega_Bogota      | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | Medellin           | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | Manizales          | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | zona_carga_ctg     | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | zona_carga_bgta    | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | zona_descarga_bgta | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | zona_carga_mzls    | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | zona_descarga_mzls | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | zona_carga_med     | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | zona_descarga_med  | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | Pereira            | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | zona_carga_per     | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |
|      | zona_descarga_per  | INF  | 1     | None    | Time Series | Oldest   |

Figura 9. Locaciones utilizados en Promodel® escenario actual

### Distribución de las locaciones



Figura 10. Distribución de las locaciones

Fuente: <http://www.mapadaamerica.com/mapa-mundi-mapa-del-mundo.html>

### 8.1.5 Llegadas (Arrivals)

Las llegadas en nuestro modelo, representan la importación de un contenedor desde China, desde su salida, llegando a Colombia y siendo distribuido en su totalidad. Después de la llegada de contenedores a cada una de las locaciones llega la materia prima en rollos de fibra textil.

| Entity...    | Location...        | Qty Each... | First Time... | Occurrences | Frequency | Logic... | Disable |
|--------------|--------------------|-------------|---------------|-------------|-----------|----------|---------|
| contenedores | puerto_en_Colombia | 1           | 0             | INF         | 100 min   |          | No      |

Figura 11. Llegadas utilizados en Promodel® escenario actual

## 9. SIMULACIÓN DISCRETA

### 9.1 SIMULACIÓN DEL MODELO ACTUAL

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la simulación del modelo del escenario actual, la simulación se hizo por un tiempo de 500 horas, simulando la situación actual de la empresa, arrojando como resultado los siguientes datos.

#### 9.1.1 Locaciones

| TESIS-SIMU FINAL.MOD (Normal Run - Avg. Reps) |                     |           |               |                          |              |                  |                  |               |
|-----------------------------------------------|---------------------|-----------|---------------|--------------------------|--------------|------------------|------------------|---------------|
| Name                                          | Scheduled Time (HR) | Capacity  | Total Entries | Avg Time Per Entry (MIN) | Avg Contents | Maximum Contents | Current Contents | % Utilization |
| puerto en China                               | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| puerto en Colombia                            | 500,00              | 999999,00 | 13,00         | 0,00                     | 0,00         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |
| bodega Bogota                                 | 500,00              | 999999,00 | 12,00         | 0,00                     | 0,00         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |
| Medellin                                      | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| Manizales                                     | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona carga cgt                                | 500,00              | 999999,00 | 13,00         | 10,63                    | 0,00         | 1,00             | 1,00             | 0,00          |
| zona carga bgta                               | 500,00              | 999999,00 | 12,00         | 9,84                     | 0,00         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona descarga bgta                            | 500,00              | 999999,00 | 12,00         | 488,20                   | 0,20         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona carga mzl                                | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona descarga mzl                             | 500,00              | 999999,00 | 4,00          | 324,74                   | 0,04         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona carga med                                | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona descarga med                             | 500,00              | 999999,00 | 4,00          | 376,77                   | 0,05         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |
| Pereira                                       | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona carga per                                | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona descarga per                             | 500,00              | 999999,00 | 3,93          | 310,41                   | 0,04         | 1,00             | 0,20             | 0,00          |

Figura 12. Locaciones resultados en Promodel® escenario actual

En la Figura 12, se evidencian los tiempos promedios de permanencia de los rollos en las locaciones, el tiempo mayor es de 488,20 minutos en la zona de descarga en Bogotá con relación al total de rollos totales que entraron en 12 ocasiones. Esta locación tiene más trascendencia en el proceso, ya que es el nodo origen, de allí se despacha la materia prima a las diferentes ciudades.

En la zona de descarga en Bogotá es necesario implementar el uso de un recurso, el cual mejorará y minimizará el tiempo que se utiliza descargando la materia prima (rollos) esta operación se hace de forma manual y esto genera demoras considerables y no permite la dinamización del modelo, es por esto que se recomienda implementar maquinaria para la descarga del material.

Los otros tiempos promedio de las entidades son acordes a la cantidad de materia prima que se maneja en cada locación.

### 9.1.2 Recursos

| TESIS-SIMU FINAL.MOD (Normal Run - Avg. Repts) |       |                     |                   |                          |                              |                               |                     |               |
|------------------------------------------------|-------|---------------------|-------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------|
| Name                                           | Units | Scheduled Time (HR) | Number Times Used | Avg Time Per Usage (MIN) | Avg Time Travel To Use (MIN) | Avg Time Travel To Park (MIN) | % Blocked In Travel | % Utilization |
| camion                                         | 1,00  | 500,00              | 24,93             | 396,53                   | 0,00                         | 833,86                        | 0,00                | 32,95         |
| camion 1                                       | 1,00  | 500,00              | 4,00              | 582,93                   | 0,00                         | 578,36                        | 0,00                | 7,77          |
| camion 2                                       | 1,00  | 500,00              | 4,00              | 672,18                   | 0,00                         | 688,96                        | 0,00                | 8,96          |
| camion 3                                       | 1,00  | 500,00              | 4,00              | 682,57                   | 0,00                         | 642,53                        | 0,00                | 9,10          |

Figura 13. Recursos resultados en Promodel® escenario actual

Podemos ver que en la Figura 13, el recurso con mayor porcentaje de utilización con un 32.95 %, es el recurso camión, algo que no nos genera gran sorpresa, ya es el que cubre la ruta entre el puerto de Cartagena y Bogotá, la ruta de mayor trayecto.

Estos recursos (Camion1, Camion2 y Camion3) tienen relativamente un margen de utilización bajo o escaso, ya que su uso se da temporalmente y no tiene un impacto negativo en el proceso en general, es un recurso necesario al momento en que el proceso se ejecute en su totalidad. Podríamos decir que en cada uno de los casos, cada recurso o camion que tiene una ruta específica, no es utilizado en su totalidad, o que aún tienen tiempo ocioso, pero al tratarse de un recurso que se contrata según el surgimiento de la necesidad y requerimientos específicos, no es un recurso sobre el cual se tenga un control directo por lo que no depende de la empresa su nivel de utilización.

En éste caso, los recursos y su utilización u ocupación en el proceso, van ligados a variables independientes o externas, las cuales tienen impacto directo al momento de hacer un ruteo entre los puntos y rutas expuestas en éste modelo.



## Utilización de los recursos

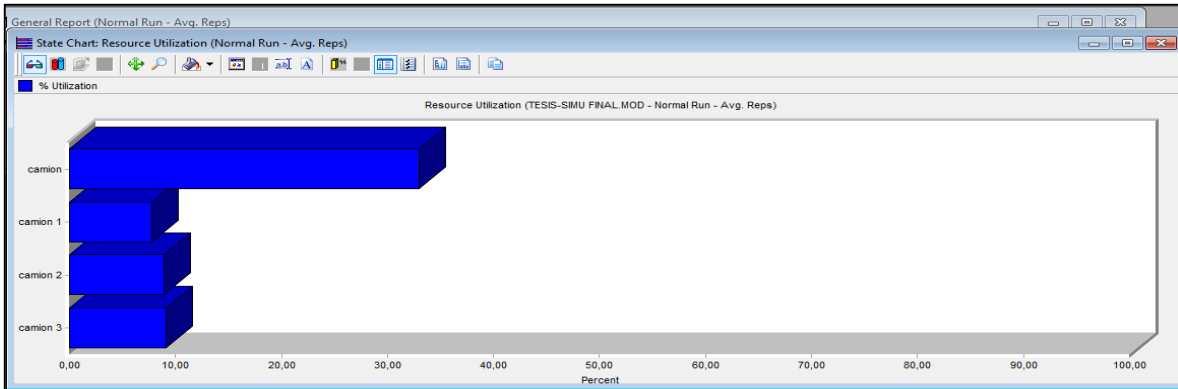


Figura 14. Utilización de recursos en Promodel® escenario actual

### 9.1.3 Entidades

| TESIS-SIMU FINAL.MOD (Normal Run - Avg. Repts) |             |                       |                          |                              |                        |                             |                        |
|------------------------------------------------|-------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Name                                           | Total Exits | Current Qty In System | Avg Time In System (MIN) | Avg Time In Move Logic (MIN) | Avg Time Waiting (MIN) | Avg Time In Operation (MIN) | Avg Time Blocked (MIN) |
| contenedores                                   | 0,00        | 1,00                  | 0,00                     | 0,00                         | 0,00                   | 0,00                        | 0,00                   |
| rollos                                         | 11,73       | 0,27                  | 2143,07                  | 1452,34                      | 3,55                   | 687,18                      | 0,00                   |

Figura 15. Entidades resultados en Promodel® escenario actual

| TESIS-SIMU FINAL.MOD (Normal Run - Avg. Repts) |                 |           |                |           |
|------------------------------------------------|-----------------|-----------|----------------|-----------|
| Name                                           | % In Move Logic | % Waiting | % In Operation | % Blocked |
| contenedores                                   | 0,00            | 0,00      | 0,00           | 0,00      |
| rollos                                         | 67,75           | 0,16      | 32,09          | 0,00      |

Figura 15. Entidades resultados en Promodel® escenario actual

En las Figura 15, en las que nos informan la actividad en el proceso de cada una de las entidades, podemos observar en la tabla que la entidad “rollos”, pasa en promedio el 67.75 % en ruta con un tiempo promedio de 2143,07 minutos, por lo que el tiempo es crucial al momento del traslado de dicha entidad.

Según los resultados obtenidos luego de ésta simulación del escenario actual, el porcentaje de operación de los rollos es en promedio del 32.09%, es decir que los rollos pasan 687,18 minutos en operación. Los rollos, están en operación cuando se transportan y cuando se cargan y descargan en algún punto. Por otro lado se tiene un tiempo promedio de espera de 3,55 minutos, este tiempo es perdido, lo ideal es que los rollos no pasen tiempo en espera, ya que esto genera demoras en el modelo.

Con estos datos podemos establecer con claridad que es muy importante optimizar las tareas en la operación de cargue y descargue y los tiempos de recorrido, aunque los tiempos son dependientes de la distancia entre cada uno de estos puntos, por eso debemos proponer un punto en el que se almacene la mercancía lo antes posible para su posterior distribución, ya que el tiempo más extenso como lo vimos anteriormente, corresponde a la ruta de entrada del contenedor, por lo tanto se debería tomar alguna decisión al respecto al momento de almacenar los rollos luego de la llegada al país.

### Entidades

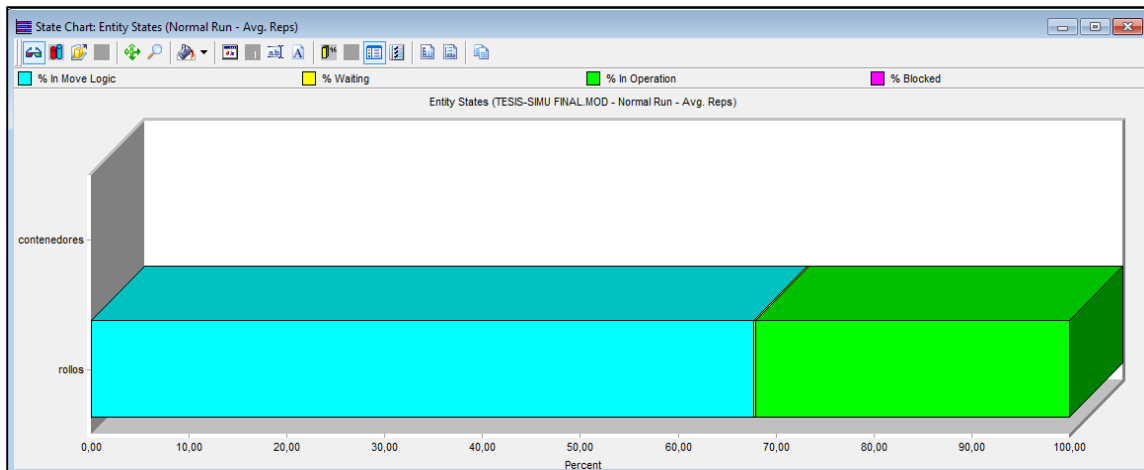


Figura 16. Entidades en Promodel® escenario actual

#### 9.1.4 Validación estadística de los datos de salida

La validación estadística de los datos se realiza según el intervalo de confianza, el cual se obtiene a partir de la fórmula

$$\left( X - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} Z_{\frac{\alpha}{2}}, X + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} Z_{\frac{\alpha}{2}} \right) \quad n = 30, \text{ la cantidad de la muestra, el número de datos.}$$

Para un nivel de confiabilidad del 90%  $Z_{\frac{\alpha}{2}} = 1,65$

Con los parámetros anteriores y queriendo lograr una confiabilidad del 90% obtenemos los resultados de la tabla 7. La validación se define verificando que los datos arrojados por el modelo de simulación se encuentren dentro del intervalo de confianza de las variables. Aquellos datos que no se encuentran dentro de los límites se consideran no válidos.

Tabla 6. Validación estadística de los datos de salida

|                       | Media  | Desviación Estándar | n  | Límite Inferior | Dato arrojado por Promodel (Locación) | Límite superior |
|-----------------------|--------|---------------------|----|-----------------|---------------------------------------|-----------------|
| TC Cartagena          | 10,55  | 0,5446              | 30 | 10,38           | 10,63                                 | 10,71           |
| TD Bogotá             | 487,25 | 4,8562              | 30 | 485,787         | 488,20                                | 488,712         |
| TC Bogotá - Manizales | 9,75   | 1,707825            | 30 | 9,235           | 9,84*                                 | 10,264          |
| TD Manizales          | 323,75 | 17,9698             | 30 | 318,336         | 324,74                                | 329,163         |
| TC Bogotá - Medellín  | 11,5   | 1,29099             | 30 | 11,111          | 9,84*                                 | 11,888          |
| TD Medellín           | 388,75 | 16,5201             | 30 | 383,773         | 376,77                                | 393,726         |
| TC4 Bogotá - Pereira  | 7      | 1,8257              | 30 | 6,450           | 9,84*                                 | 7,549           |
| TD4 Pereira           | 322,5  | 28,722              | 30 | 310,147         | 310,419                               | 331,152         |

\*\* Este tiempo es el tiempo promedio de carga en la ciudad de Bogotá para cada una de las ciudades de destino de la materia prima. En Bogotá se carga la materia prima para cada ciudad a un promedio de 9,84 minutos, la carga para cada ciudad es diferente porque depende de la demanda.

## 9.2 SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

Con el objetivo de identificar un modelo óptimo para el desarrollo estructural de la organización, se plantearon dos escenarios con algunas modificaciones respecto al modelo actual. La simulación permite tomar decisiones, modificando los errores, con un modelo se pueden evaluar diferentes estrategias y evaluar el impacto en la organización para definir conclusiones, plantear recomendaciones y tomar decisiones más acertadas. La inteligencia en la toma de decisiones se entiende como la capacidad de reunir y analizar datos para la difusión de información relevante que permita crear conocimiento apto, empleando para ello la simulación mediante escenarios como herramienta de estudio de los pronósticos o de los futuros plausibles, con el fin de determinar entre todos los escenarios posibles el más favorable y probable.

### 9.2.1 ESCENARIO 1 (La materia prima llega a puerto en Buenaventura)



Figura 17. Puerto en Buenaventura

[http://www.atlas.com.co/sia/public/uploads/lr\\_article/Puerto\\_Buenaventura\\_1.bmp](http://www.atlas.com.co/sia/public/uploads/lr_article/Puerto_Buenaventura_1.bmp)

El modelo real de la organización tiene diseñado el puerto en Cartagena, como el lugar donde llega la materia prima desde China, allí se desembarcan los contenedores y se cargan los camiones que llegarán a la bodega en la ciudad de Bogotá. Este escenario 1 plantea un modelo en el cual la materia prima no llega al puerto en la ciudad de Cartagena sino que llega al puerto en Buenaventura. Para este modelo se introdujeron las variables de los tiempos de carga, descarga y recorrido para el nuevo puerto, para esto se estructuró el mismo modelo de generación de datos en la herramienta Stat Fit, debido a la dificultad que se presenta para la toma de datos por las características del modelo (Ver anexo). En la tabla se demuestra que los datos siguen una distribución normal ya que el valor de P para cada prueba es mayor a 0,05

Tabla 7. Datos Estadístico Escenario 1.

|                        | Tipo de distribución | Media | Desviación estándar | Valor P Kolmogorov-Smirnov | Valor P Anderson Darling |
|------------------------|----------------------|-------|---------------------|----------------------------|--------------------------|
| TC Buenaventura        | normal               | 7,25  | 0,2886              | 0,47                       | 0,496                    |
| TR Buenaventura-Bogotá | normal               | 570   | 20,1990             | 0,46                       | 0,515                    |
| TD Bogotá              | normal               | 497,5 | 17,0782             | 0,47                       | 0,623                    |

Lo que se pretende con este modelo es disminuir los tiempos de llegada de materia prima a la ciudad de Bogotá y a cada una de las ciudades destino. Los resultados para este modelo después de simular por un tiempo de 500 horas fueron los siguientes

### 9.2.1.1 Locaciones

| TESIS-ESCENARIO-1(PTD).MOD (Normal Run - Avg. Reps) |                     |           |               |                          |              |                  |                  |               |      |
|-----------------------------------------------------|---------------------|-----------|---------------|--------------------------|--------------|------------------|------------------|---------------|------|
| Name                                                | Scheduled Time (HR) | Capacity  | Total Entries | Avg Time Per Entry (MIN) | Avg Contents | Maximum Contents | Current Contents | % Utilization |      |
| puerto en China                                     | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |
| puerto buenaventura                                 | 500,00              | 999999,00 | 13,00         | 0,00                     | 0,00         | 1,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |
| bodega Bogota                                       | 500,00              | 999999,00 | 12,00         | 0,00                     | 0,00         | 1,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |
| Medellin                                            | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |
| Manizales                                           | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |
| zona carga bue                                      | 500,00              | 999999,00 | 13,00         | 7,23                     | 0,00         | 1,00             | 1,00             | 0,00          | 0,00 |
| zona carga bgta                                     | 500,00              | 999999,00 | 12,00         | 9,50                     | 0,00         | 1,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |
| zona descarga bgta                                  | 500,00              | 999999,00 | 12,00         | 494,18                   | 0,20         | 1,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |
| zona carga mzls                                     | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |
| zona descarga mzls                                  | 500,00              | 999999,00 | 4,00          | 345,26                   | 0,05         | 1,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |
| zona carga med                                      | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |
| zona descarga med                                   | 500,00              | 999999,00 | 4,00          | 392,26                   | 0,05         | 1,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |
| Pereira                                             | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |
| zona carga per                                      | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |
| zona descarga per                                   | 500,00              | 999999,00 | 4,00          | 324,00                   | 0,04         | 1,00             | 0,00             | 0,00          | 0,00 |

Figura 18. Locaciones resultados en Promodel® escenario 1

En la figura 18 se puede observar que los tiempos promedio de permanencia de los rollos en las locaciones, manejan la misma tendencia, esto no cambia con respecto al escenario real pues lo que se pretende con este modelo es disminuir el tiempo de la llegada de la

materia prima a la bodega en Bogotá, por lo tanto en cada una de las locaciones los rollos permanecen un tiempo promedio similar.

### 9.2.1.2 Recursos

| Name     | Units | Scheduled Time (HR) | Number Times Used | Avg Time Per Usage (MIN) | Avg Time Travel To Use (MIN) | Avg Time Travel To Park (MIN) | % Blocked In Travel | % Utilization |
|----------|-------|---------------------|-------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------|
| camion   | 1,00  | 500,00              | 25,00             | 277,28                   | 0,00                         | 570,31                        | 0,00                | 23,11         |
| camion 1 | 1,00  | 500,00              | 4,00              | 570,60                   | 0,00                         | 586,09                        | 0,00                | 7,61          |
| camion 2 | 1,00  | 500,00              | 4,00              | 672,38                   | 0,00                         | 671,78                        | 0,00                | 8,97          |
| camion 3 | 1,00  | 500,00              | 4,00              | 681,09                   | 0,00                         | 681,74                        | 0,00                | 9,08          |

Figura 19. Recursos resultados en Promodel® escenario 1

En la figura 19 se observa como el porcentaje de utilización del recurso camión baja con respecto al escenario real, en este escenario el recurso tiene un porcentaje de utilización de 23,11 % un nivel más bajo que el porcentaje del escenario real que es del 32,95 %, esto significa que al reducir el porcentaje de utilización del recurso camión, se disminuye el tiempo de llegada de la materia prima a la bodega en Bogotá, lo que impacta directamente en los costos de transporte y en los tiempos de entrega de la materia prima en las diferentes ciudades del país.

El tiempo de los otros recursos se mantiene con la misma tendencia del escenario real ya que estos tiempos no se ven afectados ya que la ruta de recorrido hacia cada una de las ciudades sigue siendo la misma.

### Utilización de los recursos

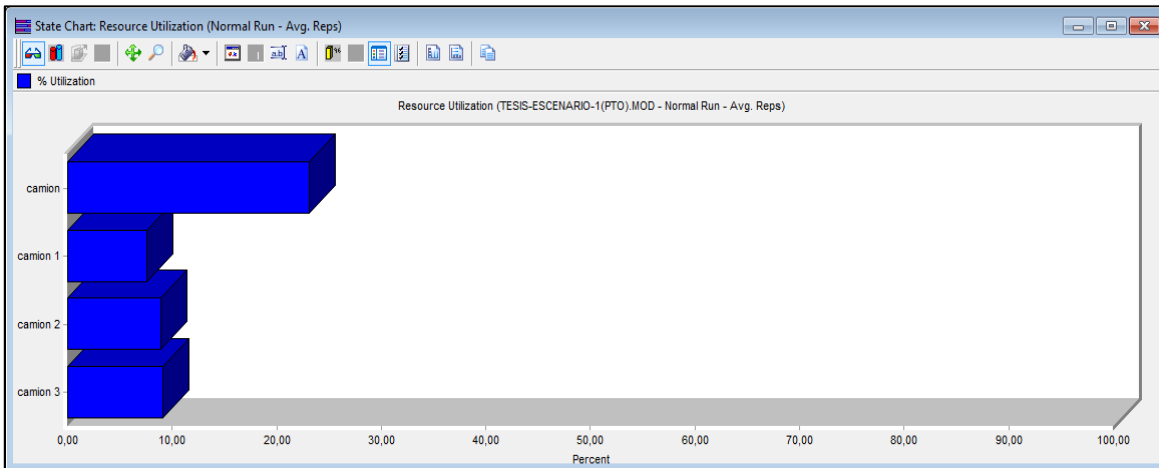


Figura 20. Utilización de Recursos resultados en Promodel® escenario 1

### 9.2.1.3 Entidades

| TESIS-ESCENARIO-1(PTD).MOD (Normal Run - Avg. Reps) |             |                       |                          |                              |                        |                             |                        |
|-----------------------------------------------------|-------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Name                                                | Total Exits | Current Qty In System | Avg Time In System (MIN) | Avg Time In Move Logic (MIN) | Avg Time Waiting (MIN) | Avg Time In Operation (MIN) | Avg Time Blocked (MIN) |
| contenedores                                        | 0,00        | 1,00                  | 0,00                     | 0,00                         | 0,00                   | 0,00                        | 0,00                   |
| rollos                                              | 12,00       | 0,00                  | 2076,54                  | 1211,19                      | 0,00                   | 865,35                      | 0,00                   |

Figura 21. Entidades resultados en Promodel® escenario 1

Se puede observar en la figura 21, los resultados arrojados por Promodel® para las entidades. Se identifican los tiempos promedios de las entidades en el sistema, los rollos que es la entidad que permanece en todo el recorrido en el sistema tiene un tiempo promedio de 2076,54 minutos, tiempo más bajo con respecto al tiempo en el escenario real que es de 2143,07, esto significa que el modelo es más dinámico ya que los rollos permanecen menos tiempo en el sistema lo que lleva a mejorar el desarrollo de éste, además el tiempo promedio de operación es de 865,35 minutos, tiempo que aumentó con respecto al tiempo en el escenario real que es de 687,18, lo que significa que la entidad permanece menos tiempo en el sistema pero más tiempo en ejecución, se está aprovechando de una manera más eficiente la utilización de la entidad rollos, la materia prima que se distribuye en las tres ciudades.

### Entidades escenario 1.

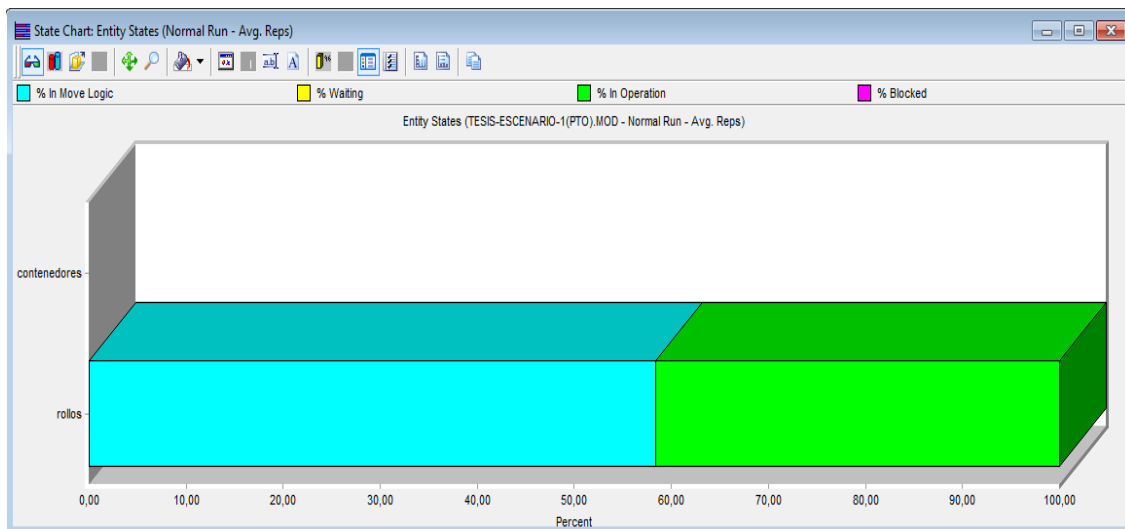


Figura 22. Utilización de Entidades resultados en Promodel® escenario 1

### 9.2.1.4 Validación estadística de los datos de salida

La validación estadística de los datos de salida se realizó de la misma forma que para el escenario real, teniendo en cuenta los mismos parámetros, de esta forma se estructuró la tabla 8.

Tabla 8. Validación estadística datos de salida Escenario 1.

|                       | Media  | Desviación Estándar | n  | Límite Inferior | Dato arrojado por Promodel (Locación) | Límite superior |
|-----------------------|--------|---------------------|----|-----------------|---------------------------------------|-----------------|
| TC Buenaventura       | 7,25   | 0,2886              | 30 | 7,163           | 7,23                                  | 7.,3369         |
| TD Bogotá             | 497,5  | 17,0782             | 30 | 492,355         | 494,18                                | 502,644         |
| TC Bogotá - Manizales | 9,75   | 1,707825            | 30 | 9,235           | 9,50*                                 | 10,264          |
| TD Manizales          | 323,75 | 17,9698             | 30 | 318,336         | 345,26                                | 349,933         |
| TC Bogotá - Medellín  | 11,5   | 1,29099             | 30 | 11,111          | 9,50*                                 | 11,888          |
| TD Medellín           | 388,75 | 16,5201             | 30 | 383,773         | 392,26                                | 393,726         |
| TC Bogotá - Pereira   | 7      | 1,8257              | 30 | 6,450           | 9,50*                                 | 7,549           |
| TD Pereira            | 322,5  | 28,722              | 30 | 313,847         | 324,00                                | 331,152         |

\* Este tiempo es el tiempo promedio de carga en la ciudad de Bogotá para cada una de las ciudades de destino de la materia prima. En Bogotá se carga la materia prima para cada ciudad a un promedio de 9,50 minutos, la carga para cada ciudad es diferente porque depende de la demanda.

### 9.2.2 ESCENARIO 2 (Centro de Distribución en Cali)

El escenario 2, es un escenario apuesta en el cual se propone a la empresa estructurar un centro de distribución en la ciudad de Cali, desde esta ciudad se distribuirá la materia prima a cada una de las ciudades de destino. Este escenario plantea que la materia prima no llegué desde China al puerto en Cartagena sino que llegue al puerto en Buenaventura y de allí se lleve la materia prima a una bodega en la ciudad de Cali en donde se almacenará para posteriormente distribuirse en las 3 ciudades de destino.

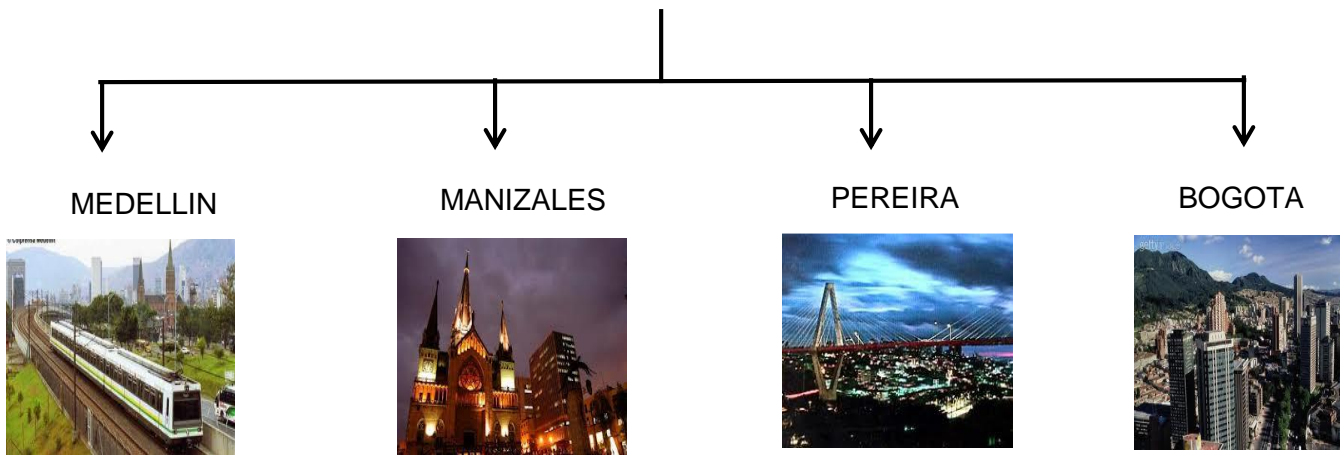
El objetivo de este escenario es disminuir notablemente los tiempos de recorrido de la materia prima, los tiempos de llegada y de entrega a cada una de las ciudades. En la siguiente tabla se definen los valores estadísticos para cada operación, la validación estadística se hizo a través de la herramienta Stat Fit en donde se generaron los datos a partir de unos históricos, esto debido a la dificultad del modelo para la toma de tiempos. (Ver Anexo). Los resultados después de simular por un tiempo de 500 horas son los siguientes;



## CALI



Figura 23. Ciudad de Cali (Nuevo centro de distribución)  
<http://www.flickr.com/calicolombia>



### Validación de los datos estadísticos

Tabla 9. Datos Estadísticos Escenario 2

|                        | Tipo de distribución | Media | Desviación Estándar | Valor P Kolmogorv-Smirnov | Valor P Anderson Darling |
|------------------------|----------------------|-------|---------------------|---------------------------|--------------------------|
| TC Buenaventura        | Normal               | 4,75  | 0,9574              | 0,499                     | 0,625                    |
| TR Buenaventura - Cali | Normal               | 180   | 24,4949             | 0,455                     | 0,537                    |
| TD Cali                | Normal               | 217,5 | 28,7228             | 0,469                     | 0,4                      |
| TC Cali - Manizales    | Normal               | 6     | 1,6329              | 0,345                     | 0,535                    |
| TR Cali - Manizales    | Normal               | 495   | 38,7298             | 0,469                     | 0,508                    |
| TD Manizales           | Normal               | 210   | 24,4949             | 0,46                      | 0,535                    |
| TC Cali - Medellín     | Normal               | 5,75  | 0,9574              | 0,47                      | 0,62                     |
| TR Cali - Medellín     | Normal               | 255   | 17,3205             | 0,469                     | 0,496                    |
| TD Medellín            | Normal               | 202,5 | 28,7228             | 0,54                      | 0,62                     |
| TC Cali - Pereira      | Normal               | 6,75  | 1,2583              | 0,238                     | 0,348                    |
| TR Cali - Pereira      | Normal               | 307,5 | 28,7228             | 0,46                      | 0,401                    |
| TD Pereira             | Normal               | 240   | 24,4949             | 0,465                     | 0,535                    |
| TC Cali - Bogotá       | Normal               | 6,75  | 1,2583              | 0,238                     | 0,348                    |
| TR Cali - Bogotá       | Normal               | 540   | 24,4949             | 0,456                     | 0,535                    |
| TD Bogotá              | Normal               | 210   | 24,4949             | 0,46                      | 0,535                    |



### 9.2.2.1 Locaciones

| Name                | Scheduled Time (HR) | Capacity  | Total Entries | Avg Time Per Entry (MIN) | Avg Contents | Maximum Contents | Current Contents | % Utilization |
|---------------------|---------------------|-----------|---------------|--------------------------|--------------|------------------|------------------|---------------|
| puerto en China     | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| puerto buenaventura | 500,00              | 999999,00 | 13,00         | 0,00                     | 0,00         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |
| bodega Bogota       | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| Medellin            | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| Manizales           | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona carga bue      | 500,00              | 999999,00 | 13,00         | 4,44                     | 0,00         | 1,00             | 1,00             | 0,00          |
| zona carga bgta     | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona descarga bgta  | 500,00              | 999999,00 | 3,00          | 209,45                   | 0,02         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona carga mzls     | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona descarga mzls  | 500,00              | 999999,00 | 3,00          | 246,42                   | 0,02         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona carga med      | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona descarga med   | 500,00              | 999999,00 | 3,00          | 210,11                   | 0,02         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |
| Pereira             | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona carga per      | 500,00              | 999999,00 | 0,00          | 0,00                     | 0,00         | 0,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona descarga per   | 500,00              | 999999,00 | 3,00          | 206,02                   | 0,02         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |
| bodega cali         | 500,00              | 999999,00 | 12,00         | 0,00                     | 0,00         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona descarga cali  | 500,00              | 999999,00 | 12,00         | 220,02                   | 0,09         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |
| zona carga cali     | 500,00              | 999999,00 | 12,00         | 6,57                     | 0,00         | 1,00             | 0,00             | 0,00          |

Figura 24. Locaciones resultados en Promodel® escenario 2

Al cambiar el centro de distribución y bodega, se obtienen los resultados observados en la figura 24, estos resultados muestran que el tiempo en las locaciones manejan la misma tendencia pues es irrelevante para el objetivo del planteamiento del modelo, ya que lo que se busca es disminuir los tiempos de recorridos y de entrega de la materia prima.

### 9.2.2.2 Recursos

| Name     | Units | Scheduled Time (HR) | Number Times Used | Avg Time Per Usage (MIN) | Avg Time Travel To Use (MIN) | Avg Time Travel To Park (MIN) | % Blocked In Travel | % Utilization |
|----------|-------|---------------------|-------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------|
| camion   | 1,00  | 500,00              | 25,00             | 88,62                    | 0,00                         | 180,37                        | 0,00                | 7,38          |
| camion 1 | 1,00  | 500,00              | 3,00              | 305,49                   | 0,00                         | 313,08                        | 0,00                | 3,05          |
| camion 2 | 1,00  | 500,00              | 3,00              | 490,99                   | 0,00                         | 486,31                        | 0,00                | 4,91          |
| camion 3 | 1,00  | 500,00              | 3,00              | 250,96                   | 0,00                         | 256,92                        | 0,00                | 2,51          |
| camion 4 | 1,00  | 500,00              | 3,00              | 542,81                   | 0,00                         | 546,70                        | 0,00                | 5,43          |

Figura 25. Recursos resultados en Promodel® escenario 2

En la figura 25 se observan los resultados del comportamiento de los recursos, se ve reflejado el impacto que se obtiene al tenerse un centro de distribución un poco más al suroccidente del país al momento de despacharse a las diferentes ciudades, este impacto se ve reflejado primero en la disminución notable del tiempo de llegada de la materia prima a la bodega, lo que se evidencia en el tiempo de uso del recurso camión que cubre la ruta desde el puerto a la bodega en Cali, este tiempo promedio es de 88,62 minutos, la disminución de este tiempo no solo dinamiza el modelo sino que disminuye el porcentaje

de utilización de los recursos y su costo. De igual forma se observa que los tiempos de utilización de los otros recursos disminuyen con respecto al modelo actual, es decir es menor el tiempo de llegada de la materia prima a cada una de las ciudades. Con éste cambio se refleja la conveniencia de tener una opción mas cercana al puerto, ya que su trayecto desde que llega al país y a su centro de almacenamiento es mucho menos y facilita en gran parte los requerimientos de la demanda actual.

### Utilización de recursos

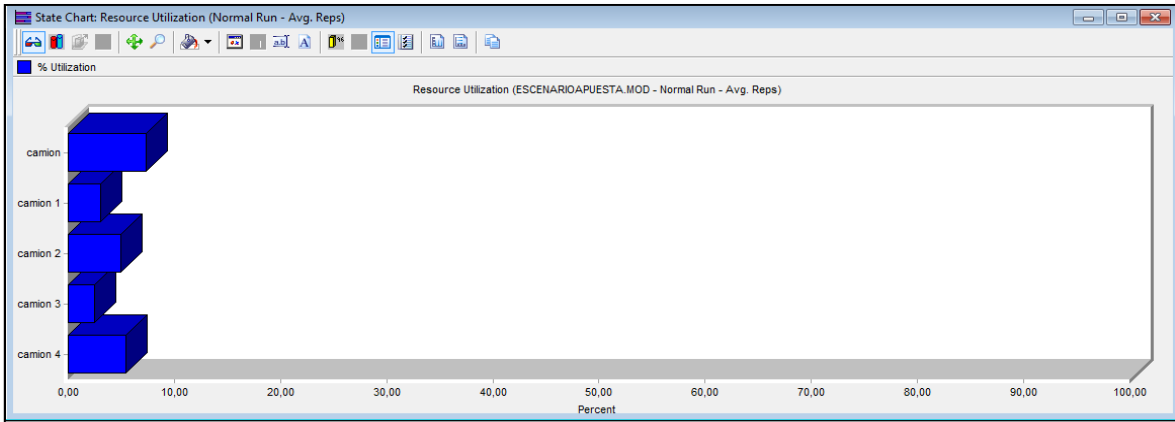


Figura 26. Gráfica de utilización de recursos en Promodel® escenario 2

### 9.2.2.3 Entidades

| ESCCENARIOAPUESTA.MOD (Normal Run - Avg. Reps) |             |                       |                          |                              |                        |                             |                        |
|------------------------------------------------|-------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Name                                           | Total Exits | Current Qty In System | Avg Time In System (MIN) | Avg Time In Move Logic (MIN) | Avg Time Waiting (MIN) | Avg Time In Operation (MIN) | Avg Time Blocked (MIN) |
| contenedores                                   | 0,00        | 1,00                  | 0,00                     | 0,00                         | 0,00                   | 0,00                        | 0,00                   |
| rollos                                         | 12,00       | 0,00                  | 1026,77                  | 577,37                       | 0,00                   | 449,40                      | 0,00                   |

Figura 27. Entidades en Promodel® escenario 2

| ESCCENARIOAPUESTA.MOD (Normal Run - Avg. Reps) |                 |           |                |           |
|------------------------------------------------|-----------------|-----------|----------------|-----------|
| Name                                           | % In Move Logic | % Waiting | % In Operation | % Blocked |
| contenedores                                   | 0,00            | 0,00      | 0,00           | 0,00      |
| rollos                                         | 56,24           | 0,00      | 43,76          | 0,00      |

Figura 28. Entidades en Promodel® escenario 2

Las figuras 27 y 28 nos muestran que los rollos pasan en promedio 1026,77 minutos en el sistema, un tiempo menor con respecto al modelo actual y al escenario 1, lo cual evidencia la eficiencia del modelo pues esto significa que el modelo es más dinámico.

Por otro lado los tiempos de espera son 0,00 lo que significa que las entidades permanecen todo el tiempo en movimiento y distribución y esto se puede evidenciar observando el porcentaje en operación, el cual es mayor con respecto al modelo actual, con esto podemos observar que se tiene un mejor y más eficiente despacho hacia las diferentes ciudades, supliendo así la demanda de una manera más rápida.

### Entidades escenario 2.

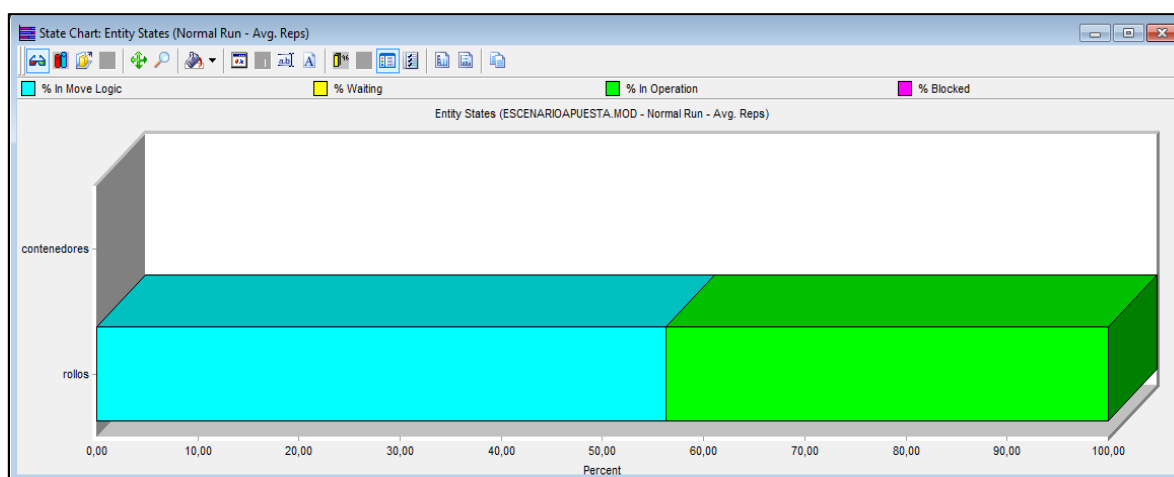


Figura 29. Gráfica de entidades en Promodel® escenario 2

#### 9.2.2.4 Validación estadística de los datos de salida

La validación estadística de los datos de salida se realizó de la misma forma que para el escenario real, teniendo en cuenta los mismos parámetros, de esta forma se estructuró la tabla 10.

Tabla 10. Validación estadística datos de salida Escenario 2.

|                     | Media | Desviación Estándar | n  | Límite inferior | Dato arrojado por Promodel® | Límite superior |
|---------------------|-------|---------------------|----|-----------------|-----------------------------|-----------------|
| TC Buenaventura     | 4,75  | 0,9574              | 30 | 4,431           | 4,449                       | 5,038           |
| TD Cali             | 217,5 | 28,7228             | 30 | 208,847         | 220,02                      | 226,152         |
| TC Cali - Manizales | 6     | 1,6329              | 30 | 5,508           | 6,57*                       | 6,699           |
| TD Manizales        | 210   | 24,4949             | 30 | 202,620         | 246,42                      | 249,379         |
| TC Cali - Medellín  | 5,75  | 0,9574              | 30 | 5,461           | 6,57*                       | 6,038           |
| TD Medellín         | 202,5 | 28,7228             | 30 | 193,847         | 210,11                      | 211,152         |
| TC Cali - Pereira   | 6,75  | 1,2583              | 30 | 6,370           | 6,57*                       | 7,129           |
| TD Pereira          | 213   | 24,4949             | 30 | 205,620         | 206,02                      | 220,379         |
| TC Cali - Bogotá    | 6,75  | 1,2583              | 30 | 6,370           | 6,57*                       | 7,129           |
| TD Bogotá           | 210   | 24,4949             | 30 | 202,620         | 209,45                      | 217,379         |

\* Este tiempo es el tiempo promedio de carga en la ciudad de Cali para cada una de las ciudades de destino de la materia prima. En Cali se carga la materia prima para cada ciudad a un promedio de 6,57 minutos, la carga para cada ciudad es diferente porque depende de la demanda.

### Síntesis de resultados con los valores medios de cada escenario

| ESCENARIO | Entidades (min) |                     |           | Utilización de los Recursos (min) |               |               |               |               |
|-----------|-----------------|---------------------|-----------|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|           | Tiempo en ruta  | Tiempo en operación | En espera | Camión                            | Camión_1      | Camión_2      | Camión_3      | Camión_4      |
| Real      | 2143,07         | 687,18              | 3,55      | 396,53                            | 582,93        | 672,18        | 682,57        | 0             |
| 1         | 1907,8          | 695,96              | 0         | 277,28                            | 570,60        | 672,38        | 681,09        | 0             |
| <b>2</b>  | <b>1026,77</b>  | <b>449,4</b>        | <b>0</b>  | <b>88,62</b>                      | <b>305,49</b> | <b>490,99</b> | <b>250,96</b> | <b>542,81</b> |

Tabla 11. Consolidado final

En la tabla se observan los resultados obtenidos después de la simulación de cada uno de los escenarios. Se puede evidenciar que el escenario 2 es el más eficiente y dinámico de todos los escenarios. En este los tiempos de operación y de permanencia en ruta de las entidades son menores que en los otros modelos, lo que evidencia el dinamismo del modelo, además el tiempo en espera es igual 0, lo que significa que no hay tiempos muertos que demoren la ejecución del modelo, ya que las entidades permanecen todo el tiempo en movimiento y distribución. De igual forma se observa en la tabla que el tiempo de utilización de los recursos es menor en el escenario 2, lo que muestra una optimización en los tiempos de recorridos y en los costos de transporte.

## 10. CONCLUSIONES

La estructuración y ejecución de este proyecto nos permitió aplicar conocimientos y competencias adquiridas durante el proceso de formación como Ingenieros Industriales en la Universidad. Este proyecto fue un gran reto de aplicar diferentes áreas del conocimiento en una organización con el fin de aportar un desarrollo estructural. Los conocimientos en logística nos ayudaron a definir la cadena de suministros de la organización en la cual se definieron las actividades de transporte, carga y descarga y almacenamiento de la materia prima, Las herramientas estadísticas nos permitieron validar los datos de entrada y de salida para justificar el comportamiento de las variables. En la parte de construcción del modelo se utilizó una herramienta de gran ayuda para las simulaciones, el software Promodel®. En la segunda parte del proyecto se utilizaron conceptos de optimización, basados en modelos matemáticos de programación lineal, en esta parte se utilizó el software Winqsb.

Es importante resaltar que gracias a la realización del proyecto, se tuvo un acercamiento más al mundo laboral, se crearon vínculos importantes para nuestro desarrollo profesional, vínculos que nos permitieron desarrollar nuestras competencias y habilidades, aportando al desarrollo estructural de la organización. De esta forma el proyecto es para la empresa una importante herramienta para toma de decisiones, con el fin de mejorar la dinámica de su modelo logístico.

Con relación a los escenarios simulados en Promodel® se puede decir que:

- Escenario Real. La simulación del escenario real de la empresa nos muestra que hay una gran diferencia de tiempos entre carga y descarga de la materia prima, esto debido a la deficiente organización logística de la empresa para la ejecución de dichas actividades. La operación de carga se realiza de forma mecánica y la operación de descarga se realiza de forma manual, por lo tanto sería necesario que en la actividad de descarga se implemente un recurso con el fin de equilibrar los tiempos de las dos actividades y dinamizar el modelo. En los resultados del modelo se observa que los rollos permanecen en promedio el 67.75 % en ruta con un tiempo promedio de 2143,07 minutos, además según los resultados obtenidos luego de ésta simulación se observa que el porcentaje de operación de dicha entidad es en promedio del 32.09% con un tiempo promedio de 687,18 minutos con relación al porcentaje de espera en promedio que es del 0.16% con un tiempo promedio de 3,55 minutos, lo ideal sería minimizar el tiempo de espera de la entidad con el fin de dinamizar el modelo.
- Escenario 1 (La materia prima llega a puerto en Buenaventura). Con el diseño y montaje de este modelo de simulación, se buscó disminuir el tiempo de llegada de la materia prima desde el puerto a la bodega, esto de igual forma disminuye el costo de transporte ya que es proporcional al tiempo de recorrido. Con la simulación de este modelo se logró disminuir el tiempo de permanencia en ruta de los rollos, se tuvo un tiempo de 2076,54 minutos, tiempo más bajo con respecto al tiempo en el

escenario real que es de 2143,07, esto significa que el modelo es más dinámico ya que los rollos permanecen menos tiempo en el sistema lo que lleva a mejorar el desarrollo de éste, además el tiempo promedio de operación es de 865,35 minutos, tiempo que aumentó con respecto al tiempo en el escenario real que es de 687,18, lo que significa que la entidad permanece menos tiempo en el sistema pero más tiempo en ejecución, se está aprovechando de una manera más eficiente la utilización de la entidad rollos, la materia prima que se distribuye en las tres ciudades. De igual forma el tiempo de espera en el sistema se disminuyó totalmente, pues se pasó de 3,55 minutos a 0,00 minutos. En este orden de ideas, es un escenario atractivo para la empresa, con esta información planteada la organización puede tomar decisiones para mejorar su modelo actual.

- Escenario 2 (Centro de distribución en Buenaventura). Este escenario, es el escenario apuesta, lo consideramos como la mejor opción para la organización con el fin de mejorar su desarrollo organizacional y su cadena logística. Con el planteamiento de este modelo se buscó disminuir notablemente los tiempos de recorrido y de entrega de la materia prima para cada una de las ciudades, en este modelo la ciudad de Bogotá ya no es el centro de distribución sino que se convierte en una ciudad de destino para distribuir la materia prima, así como Medellín, Manizales y Pereira. En este escenario la ciudad de Cali se convierte en el centro de distribución, lo cual permitiría por otro lado abrir nuevo mercado en esta ciudad y aumentar la demanda de materia prima. Los resultados de la simulación del modelo reflejan una disminución notable del tiempo de llegada de la materia prima a la bodega, lo que se evidencia en el tiempo de uso del recurso camión que cubre la ruta desde el puerto a la bodega en Cali, este tiempo promedio es de 88,62 minutos, así mismo el tiempo promedio de los otros recursos es menor al tiempo en el modelo actual, en cuanto al tiempo de permanencia de los rollos en el sistema se obtuvo un tiempo promedio de 1026,77 minutos, tiempo mucho menor al tiempo del escenario actual (2143,07 minutos) y al escenario 1 (1907,80 minutos), esto significa que el sistema es muy dinámico y que los rollos llegan a la bodega y a las ciudades en un tiempo mucho menor. Por otro lado los tiempos de espera son 0,00 lo que significa que las entidades permanecen todo el tiempo en movimiento y distribución, razón por la cual las entidades permanecen menos tiempo en el sistema. Es claro que éste escenario propuesto reduce y optimiza el manejo y la distribución de los rollos que se demandan, de acuerdo a los resultados se redujo el tiempo promedio de los rollos que entran en el sistema y son movilizados de un punto a otro. Esto se debe fundamentalmente a que las rutas entre la ciudad de Cali y las otras ciudades de destino; Manizales, Pereira y Medellín son rutas más favorables y de mejor recorrido. En el caso de Bogotá, encontrándose ubicada en la cordillera central, tienen vías mucho más complejas al momento de dirigirse hacia otras ciudades.

Finalmente podemos decir entonces que el proyecto es una fuente de información muy importante para la empresa, con el fin de tomar decisiones correctas para mejorar y optimizar el modelo logístico. Se han planteado propuestas interesantes para la empresa, con el fin de mejorar su desarrollo estructural y aumentar su eficiencia

## 11. RECOMENDACIONES

- Con la implementación del modelo 2 se pueden optimizar los tiempos para el despacho oportuno de los pedidos en las diferentes ciudades; lograr una combinación óptima para el mejoramiento de métodos utilizando los recursos apropiados según los requerimientos de cada demanda específica. La ejecución de operaciones que en especial son indispensable para el proceso de importación, debe hacerse de manera tal que la sucesión de actividades, esté en sincronía siempre y cuando se obtenga información previa y documentada para las demandas actuales de los productos requeridos.
- Para la empresa, es claro que los factores logísticos y operacionales en el interior del país son de vital importancia para obtener resultados eficientes para lograr suplir con la demanda actual, es por ello que debe tenerse en cuenta las distintas combinaciones que podrían lograrse con los servicios ofrecidos por dichas compañías logísticas, es por ello que propusimos un escenario en el cual se podría variar la ubicación de puertos, líneas de distribución, y centro de operación principal, queriendo proponer e ilustrar más a fondo los posibles resultados que se generan, los cambios y su impacto en los costos y eficiencia de recursos utilizados.

## **12. OPTIMIZACIÓN**

El objetivo de este trabajo es diseñar un modelo de optimización para la empresa, que le permita tomar mejores decisiones en cuanto al sistema de rutas de transporte óptimo, así como la minimización en los costos al momento de suplir las demandas nacionales.

### **12.1 Introducción**

Con el presente trabajo se aplican los métodos cuantitativos en la optimización de procesos de distribución logística, implícitos en realidades empresariales. Dichos métodos integran estudios científicos aplicados a la resolución de problemas complejos, utilizando un conjunto de instrumentos matemáticos que modelan, optimizan y controlan sistemas.

Gracias a la optimización lineal un administrador o gerente es más eficiente en la toma de decisiones, lo hace de modo más objetivo, sin caer en el azar. No obstante, no lo hará de forma automática, sino consciente de que hay variables externas incontrolables en el sistema que administra.

Al mismo tiempo, se tienen presente los aspectos cualitativos de la toma de decisiones; es innegable que, junto con la modelación lineal, se complementan a la hora de tomar una decisión acertada, siendo los métodos cuantitativos los que llevan a perfeccionar el proceso intuitivo la logística de la empresa.

Con el presente trabajo se busca Emplear eficientemente los conocimientos en optimización aplicados a un modelo de transporte de la organización, de igual forma se pretende aplicar correctamente los conocimientos adquiridos de programación lineal a fin de optimizar la distribución de recursos y Aprovechar las herramientas de modelo de transporte y transbordo para reformar las rutas de distribución y mercadeo.

### **12.2 Contextualización**

El modelo de optimización se estructuró para un escenario planteado por la organización, la empresa desea saber cuál sería el costo mínimo de transporte y las rutas óptimas de recorrido para dicho escenario, con el fin de validar la viabilidad de éste. El escenario propuesto por la empresa es el siguiente:

La materia prima llega en contenedores a dos ciudades portuarias, al puerto en Cartagena y al puerto en Buenaventura, de los puertos la materia prima se transporta a dos bodegas, una en la ciudad de Bogotá y la otra en la ciudad de Girardot, allí se comercializa parte de la fibra y también, desde allí, se envía a Manizales, Medellín y Pereira.

El señor gerente, requiere un proceso de optimización, a fin de suplir la demanda del próximo mes. La empresa cuenta con dos bodegas de almacenamiento: en Bogotá y Girardot y distribuye rollos de fibra textil a Medellín, Manizales y Pereira.



## 12.3 Análisis

### 12.3.1 Transporte y Transbordo

- **Nodos de Origen**

Importados desde China, llegan 250 rollos de fibra textil a cada uno de los puertos: Cartagena y Buena Ventura. De ahí, deberán distribuirse a las distintas ciudades destino, pero antes pasando por las bodegas ubicadas en el centro del país.

- **Nodos de Destino**

Cada mes, las ciudades destino: Medellín, Manizales y Pereira demandan 25, 15 y 20 rollos de fibra textil, respectivamente. Las cantidades demandadas son constantes, prestándose para la optimización.

- **Trayectorias Origen – Transbordo**

Los siguientes, son los costos unitarios de transporte y almacenaje entre cada puerto – nodos de origen– y las bodegas en Cundinamarca, que actúan como nodos de trasbordo.

Tabla 11. Origen - Destino

|                         | <b>3. Bogotá</b> | <b>4. Girardot</b> |
|-------------------------|------------------|--------------------|
| <b>1. Cartagena</b>     | \$ 950,000       | \$ 830,000         |
| <b>2. Buena Ventura</b> | \$ 820,000       | \$ 970,000         |

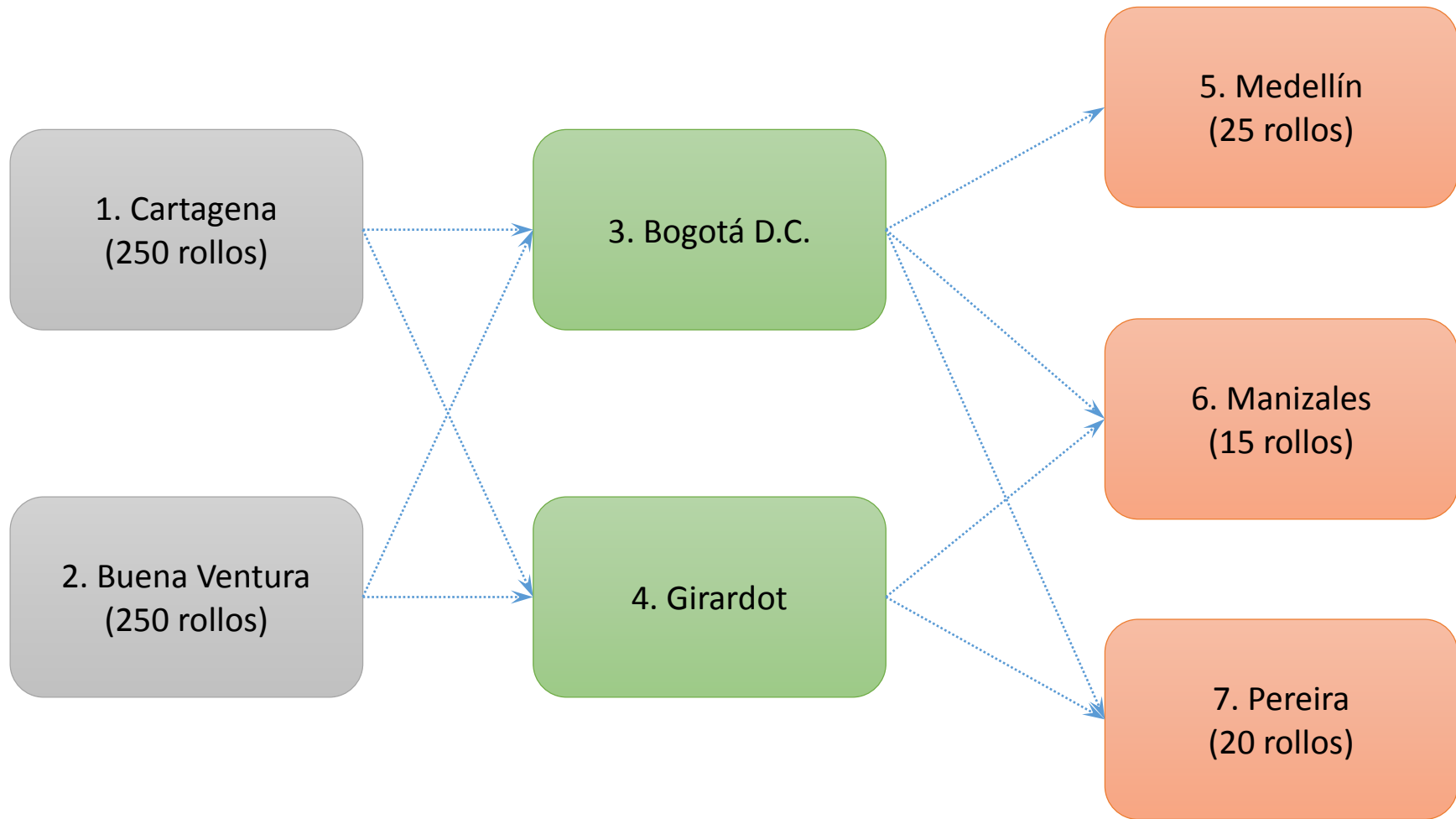
- **Trayectorias Transbordo – Destino**

Los siguientes son los costos de transporte entre cada bodega y las ciudades destino según kilometraje y condiciones del terreno. No hay viaje directo de Girardot a Medellín.

Tabla 12. Transbordo - Destino

|                    | <b>5. Medellín</b> | <b>6. Manizales</b> | <b>7. Pereira</b> |
|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| <b>3. Bogotá</b>   | \$500,000          | \$300,000           | \$400,000         |
| <b>4. Girardot</b> | –                  | \$330,000           | \$370,000         |

### 12.3.2 Descripción Logística gráfica



### 12.3.3 Función objetivo

Teniendo en cuenta los costos de desplazamiento, en millones de pesos, el objetivo a minimizar la función lineal de costo de transporte, dada por:

$$Z = 0.95X_{13} + 0.83X_{14} + 0.82X_{23} + 0.97X_{24} + 0.5X_{35} + 0.3X_{36} + 0.4X_{37} + 0.33X_{46} + 0.37X_{47}$$

### 12.3.4 Restricciones de suministros

$$X_{13} + X_{14} \leq 250 \text{ rollos} \quad \text{Suministro Cartagena}$$

$$X_{23} + X_{24} \leq 250 \text{ rollos} \quad \text{Suministro Buenaventura}$$

### 12.3.5 Ecuaciones de transbordo

$$X_{13} + X_{23} - X_{35} - X_{36} - X_{37} = 0$$

$$X_{14} + X_{24} - X_{46} - X_{47} = 0$$

### 12.3.6 Ecuaciones de Demanda

$$X_{35} = 25 \text{ rollos} \quad \text{Demanda Medellín}$$

$$X_{36} + X_{46} = 15 \text{ rollos} \quad \text{Demanda Manizales}$$

$$X_{37} + X_{47} = 20 \text{ rollos} \quad \text{Demanda Pereira}$$

## 12.4 Simulación en WinQSB

### 12.4.1 Matriz de Ecuaciones

El siguiente es el sistema de ecuaciones, compuesto de la función objetivo y las restricciones, ingresado al programa *WinQSB 2.0*.

| From \ To     | Cartagena | Buena Ventura | Bogotá | Girardot | Medellín | Manizales | Pereira | Supply |
|---------------|-----------|---------------|--------|----------|----------|-----------|---------|--------|
| Cartagena     |           |               | 0.95   | 0.83     |          |           |         | 250    |
| Buena Ventura |           |               | 0.82   | 0.97     |          |           |         | 250    |
| Bogotá        |           |               |        |          | 0.50     | 0.30      | 0.40    | 0      |
| Girardot      |           |               |        |          |          | 0.33      | 0.37    | 0      |
| Medellín      |           |               |        |          |          |           |         | 0      |
| Manizales     |           |               |        |          |          |           |         | 0      |
| Pereira       |           |               |        |          |          |           |         | 0      |
| Demand        | 0         | 0             | 0      | 0        | 25       | 15        | 20      |        |

Figura 30. Matriz de ecuaciones WinQSB

### 12.4.2 Diagrama de Red

El siguiente es el diagrama de redes que simula el *WINQSB 2.0*, coincide con el planteado teóricamente agregando los pesos de cada ruta.

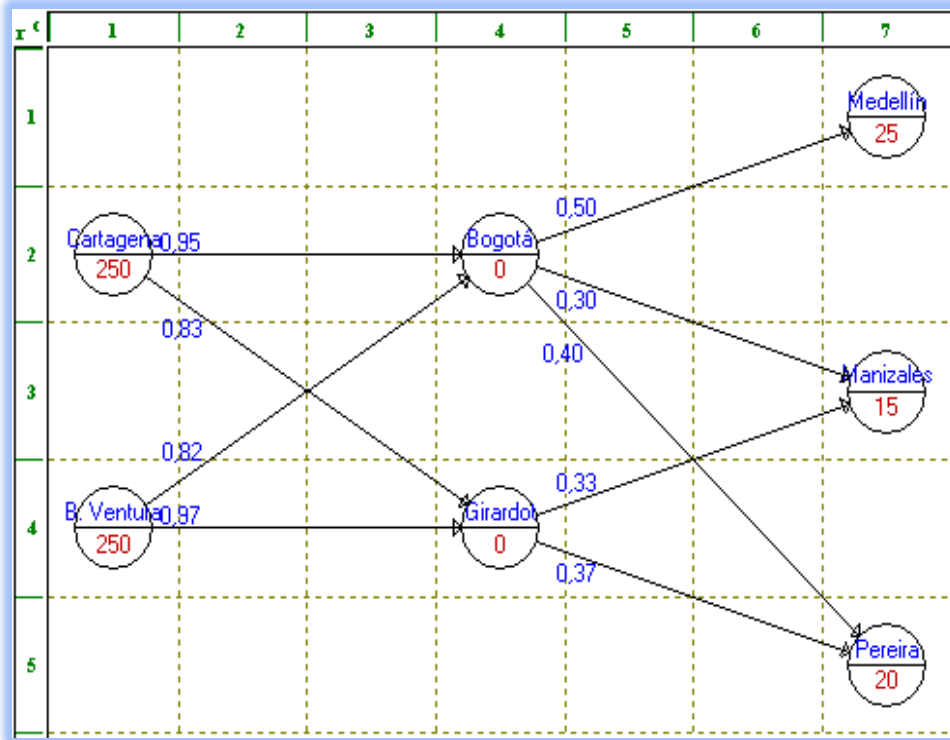


Figura 31. Diagrama de red WinQSB

### 12.5 Solución

La optimización calculada por el software es:

| 07-13-2014 | From          | To            | Flow     | Unit Cost | Total Cost | Reduced Cost |
|------------|---------------|---------------|----------|-----------|------------|--------------|
| 1          | Cartagena     | Girardot      | 20       | 0,83      | 16,60      | 0            |
| 2          | Cartagena     | Unused_Supply | 230      | 0         | 0          | 0            |
| 3          | Buena Ventura | Bogotá        | 40       | 0,82      | 32,80      | 0            |
| 4          | Buena Ventura | Unused_Supply | 210      | 0         | 0          | 0            |
| 5          | Bogotá        | Medellín      | 25       | 0,50      | 12,50      | 5,960464E-08 |
| 6          | Bogotá        | Manizales     | 15       | 0,30      | 4,50       | 0            |
| 7          | Girardot      | Pereira       | 20       | 0,37      | 7,40       | 0,00         |
|            | Total         | Objective     | Function | Value =   | 73,80      |              |

Figura 32. Simulación WinQSB

El costo mínimo se obtiene si se distribuyen los rollos como indica la columna *flow* (flujo).

Las rutas que arrojaron un flujo de cero, no son rentables para enviar los rollos de fibra, del mismo modo que las rutas que no aparecieron. Esta información es de alto valor administrativo, dado a que no se sabe intuitivamente que tales rutas son completamente ineficientes para mover mercancía. Las rutas desde la bodega en Girardot son ineficientes. La distribución óptima, con todas las rutas, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13. Ruta óptima

| <b>RUTA</b>                  | <b>ROLLOS</b> |
|------------------------------|---------------|
| <i>Cartagena - Bogotá</i>    | -             |
| <i>Cartagena - Girardot</i>  | 20            |
| <i>B. Ventura - Bogotá</i>   | 40            |
| <i>B. Ventura - Girardot</i> | -             |
| <i>Bogotá - Medellín</i>     | 25            |
| <i>Bogotá - Manizales</i>    | 15            |
| <i>Bogotá - Pereira</i>      | -             |
| <i>Girardot - Manizales</i>  | -             |
| <i>Girardot - Pereira</i>    | 20            |

## 12.6 Conclusiones

- Las rutas desde Girardot son ineficientes, primero porque no hay viaje directo a la Ciudad de Medellín, de igual forma para minimizar el costo no es pertinente enviar la materia prima desde Girardot hacia Manizales, por lo tanto tener una bodega solo para enviar a una Ciudad no es muy conveniente para la empresa, ya que los costos de mantenimiento de la bodega son altos y no se justifica la inversión.
- Para la empresa es consecuente trabajar con los dos puertos, aunque según los resultados de la simulación es más eficiente trabajar con el puerto en Buenaventura, ya que por estar más cerca a las bodegas de almacenamiento, los costos y tiempos de transporte son menores lo cual significa un dinamismo para el modelo logístico
- Los métodos cuantitativos, son de real utilidad en la solución de problemas de toma de decisiones y permiten elegir la opción más adecuada para alcanzar un determinado objetivo, teniendo en cuenta las relaciones externas no controlables por quien debe tomar la decisión. Además, la ventaja de utilizar un modelo matemático para representar un proceso de la compañía, es el ahorro de tiempo y dinero de forma predecible y controlada.
- Estos métodos cuantitativos tienen como fundamento el método científico, que básicamente consiste en seguir pasos para obtener la información de un problema,

y así modelar una solución. Por tanto, las soluciones halladas tienen fundamento lógico y garantizan una mejor distribución de los recursos, sean materias primas, insumos, combustible o rutas de transporte

### 13. ANEXO 1

#### Datos para las operaciones 1.

| <b>TC1</b> | <b>media</b> | 10,55 | <b>TR1</b> | <b>media</b> | 705     | <b>TD1</b> | <b>media</b> | 487,25 |
|------------|--------------|-------|------------|--------------|---------|------------|--------------|--------|
| 11         | <b>d. e</b>  | 0,545 | 720        | <b>d. e</b>  | 102,469 | 486        | <b>d. e</b>  | 4,8562 |
| 9,8        |              |       | 600        |              |         | 481        |              |        |
| 10,5       |              |       | 840        |              |         | 492        |              |        |
| 10,9       |              |       | 660        |              |         | 490        |              |        |
| 10.6072    |              |       | 715.761    |              |         | 487.76     |              |        |
| 10.3849    |              |       | 673.944    |              |         | 485.778    |              |        |
| 10.8       |              |       | 752.038    |              |         | 489.479    |              |        |
| 9,69668    |              |       | 544.444    |              |         | 479.641    |              |        |
| 10,6989    |              |       | 733.019    |              |         | 488.578    |              |        |
| 10,1624    |              |       | 632.072    |              |         | 483.794    |              |        |
| 10.1234    |              |       | 554.444    |              |         | 480.115    |              |        |
| 11,3435    |              |       | 854.302    |              |         | 494.326    |              |        |
| 10,3611    |              |       | 669.455    |              |         | 485.565    |              |        |
| 10,5896    |              |       | 712.453    |              |         | 487.603    |              |        |
| 11,0792    |              |       | 804.57     |              |         | 491.969    |              |        |
| 10.32      |              |       | 661.716    |              |         | 485.199    |              |        |
| 9,58729    |              |       | 523.861    |              |         | 478.665    |              |        |
| 10,8933    |              |       | 769.592    |              |         | 490.311    |              |        |
| 9,73199    |              |       | 551.089    |              |         | 479.956    |              |        |
| 10,7083    |              |       | 734.787    |              |         | 488.662    |              |        |
| 10,2949    |              |       | 657.001    |              |         | 484.975    |              |        |
| 106358     |              |       | 721.149    |              |         | 488.015    |              |        |
| 11,118     |              |       | 811.871    |              |         | 492.315    |              |        |
| 10,8159    |              |       | 755.035    |              |         | 489.621    |              |        |
| 10,8802    |              |       | 767.13     |              |         | 490.194    |              |        |
| 9,64693    |              |       | 535.084    |              |         | 479.197    |              |        |
| 10,7491    |              |       | 742.471    |              |         | 489.026    |              |        |
| 11,0539    |              |       | 799.807    |              |         | 491.743    |              |        |
| 10,9208    |              |       | 774.774    |              |         | 490.557    |              |        |
| 10,838     |              |       | 759.192    |              |         | 489.818    |              |        |

**Datos para las operaciones 2.**

| <b>TC2</b> | <b>media</b> | <b>9.75</b> | <b>TR2</b> | <b>media</b> | <b>570</b> | <b>TD2</b> | <b>media</b> | <b>323,75</b> |
|------------|--------------|-------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|---------------|
| 12         | d. e         | 2.916       | 600        | d. e         | 77.459     | 350        | d. e         | 17,9698       |
| 8          |              |             | 540        |              |            | 320        |              |               |
| 9          |              |             | 660        |              |            | 310        |              |               |
| 10         |              |             | 480        |              |            | 315        |              |               |
| 10.0562    |              |             | 578.134    |              |            | 325.637    |              |               |
| 8.86622    |              |             | 546.524    |              |            | 318.304    |              |               |
| 11.0886    |              |             | 605.558    |              |            | 331.999    |              |               |
| 5.181      |              |             | 448.632    |              |            | 295.594    |              |               |
| 10.5473    |              |             | 591.18     |              |            | 328.664    |              |               |
| 7.67466    |              |             | 514.872    |              |            | 310.961    |              |               |
| 5.46556    |              |             | 456.19     |              |            | 297.347    |              |               |
| 13.9987    |              |             | 682.861    |              |            | 349.933    |              |               |
| 8.73849    |              |             | 543.131    |              |            | 317.517    |              |               |
| 9.96208    |              |             | 575.634    |              |            | 325.057    |              |               |
| 12.5835    |              |             | 645.267    |              |            | 341.211    |              |               |
| 8.51825    |              |             | 537.28     |              |            | 316.159    |              |               |
| 4.59525    |              |             | 433.072    |              |            | 291.984    |              |               |
| 11.5881    |              |             | 618.827    |              |            | 335.077    |              |               |
| 5.37008    |              |             | 453.654    |              |            | 296.759    |              |               |
| 10.5977    |              |             | 592.517    |              |            | 328.974    |              |               |
| 8.38409    |              |             | 533.717    |              |            | 315.333    |              |               |
| 10.2096    |              |             | 582.208    |              |            | 326.582    |              |               |
| 12.7913    |              |             | 650.787    |              |            | 342.492    |              |               |
| 11.1739    |              |             | 607.823    |              |            | 332.525    |              |               |
| 11.518     |              |             | 616.965    |              |            | 334.646    |              |               |
| 4.91463    |              |             | 441.556    |              |            | 293.952    |              |               |
| 10.8163    |              |             | 598.325    |              |            | 330.321    |              |               |
| 12.448     |              |             | 641.667    |              |            | 340.376    |              |               |
| 11.7356    |              |             | 622.744    |              |            | 335.986    |              |               |
| 11.2922    |              |             | 610.965    |              |            | 333.254    |              |               |



**Datos para las operaciones 3.**

| <b>TC3</b> | <b>media</b> | <b>11,5</b> | <b>TR3</b> | <b>media</b> | <b>675</b> | <b>TD3</b> | <b>media</b> | <b>388,75</b> |
|------------|--------------|-------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|---------------|
| 10         | d. e         | 1,29094     | 660        | d. e         | 38,729833  | 480        | d. e         | 16,5201       |
| 11         |              |             | 720        |              |            | 270        |              |               |
| 13         |              |             | 630        |              |            | 390        |              |               |
| 12         |              |             | 690        |              |            | 420        |              |               |
| 11.6355    |              |             | 679.067    |              |            | 390,485    |              |               |
| 11.109     |              |             | 663.262    |              |            | 383.743    |              |               |
| 12.0922    |              |             | 692.779    |              |            | 396.334    |              |               |
| 9.47874    |              |             | 614.315    |              |            | 362.865    |              |               |
| 11.8527    |              |             | 685.59     |              |            | 393.267    |              |               |
| 10.5819    |              |             | 647.436    |              |            | 376.993    |              |               |
| 9.60462    |              |             | 618.094    |              |            | 364.477    |              |               |
| 13.3796    |              |             | 731.431    |              |            | 412.82     |              |               |
| 11.0525    |              |             | 661.565    |              |            | 383.019    |              |               |
| 11.5938    |              |             | 677.817    |              |            | 389.952    |              |               |
| 12.7535    |              |             | 712.634    |              |            | 404.803    |              |               |
| 10.9551    |              |             | 658.64     |              |            | 381.772    |              |               |
| 9.21961    |              |             | 606.535    |              |            | 359.547    |              |               |
| 12.3132    |              |             | 699.414    |              |            | 399.164    |              |               |
| 9.56238    |              |             | 616.826    |              |            | 363.936    |              |               |
| 11.875     |              |             | 686.259    |              |            | 393.552    |              |               |
| 10.8957    |              |             | 656.858    |              |            | 381.012    |              |               |
| 11.7033    |              |             | 681.104    |              |            | 391.354    |              |               |
| 12.8454    |              |             | 715.394    |              |            | 405.98     |              |               |
| 12.1299    |              |             | 693.912    |              |            | 396.817    |              |               |
| 12.2822    |              |             | 698.483    |              |            | 398.767    |              |               |
| 9.3609     |              |             | 610.777    |              |            | 361.356    |              |               |
| 11.9717    |              |             | 689.163    |              |            | 394.791    |              |               |
| 12.6935    |              |             | 710.834    |              |            | 404.035    |              |               |
| 12.3784    |              |             | 701.372    |              |            | 399.999    |              |               |
| 12.1822    |              |             | 695.483    |              |            | 397.487    |              |               |

**Datos para las operaciones 4**

| <b>TC4</b> | <b>media</b> | <b>7</b> | <b>TR4</b> | <b>media</b> | <b>682,5</b> | <b>TD4</b> | <b>media</b> | <b>322,5</b> |
|------------|--------------|----------|------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| 6          | d. e         | 1,82574  | 660        | d. e         | 75           | 300        | d. e         | 28,72283     |
| 8          |              |          | 600        |              |              | 360        |              |              |
| 9          |              |          | 690        |              |              | 300        |              |              |
| 5          |              |          | 780        |              |              | 330        |              |              |
| 7.19113    |              |          | 690.376    |              |              | 325.516    |              |              |
| 6.4484     |              |          | 659.769    |              |              | 313.796    |              |              |
| 7.83547    |              |          | 716.929    |              |              | 335.684    |              |              |
| 4.14829    |              |          | 564.985    |              |              | 277.499    |              |              |
| 7.49765    |              |          | 703.008    |              |              | 330.353    |              |              |
| 5.70469    |              |          | 629.122    |              |              | 302.060    |              |              |
| 4.3259     |              |          | 572.303    |              |              | 280.302    |              |              |
| 9.65182    |              |          | 791.778    |              |              | 364.346    |              |              |
| 6.36867    |              |          | 656.484    |              |              | 312.537    |              |              |
| 7.13237    |              |          | 687.955    |              |              | 324.589    |              |              |
| 8.7685     |              |          | 755.378    |              |              | 350.407    |              |              |
| 6.23121    |              |          | 650.819    |              |              | 310.368    |              |              |
| 3.7827     |              |          | 549.919    |              |              | 271.738    |              |              |
| 8.14725    |              |          | 729.777    |              |              | 340.604    |              |              |
| 4.26631    |              |          | 569.848    |              |              | 279.362    |              |              |
| 7.52906    |              |          | 704.302    |              |              | 330.849    |              |              |
| 6.14747    |              |          | 647.368    |              |              | 309.047    |              |              |
| 7.28683    |              |          | 694.324    |              |              | 327.026    |              |              |
| 8.89819    |              |          | 760.722    |              |              | 352.454    |              |              |
| 7.88869    |              |          | 719.122    |              |              | 336.524    |              |              |
| 8.10351    |              |          | 727.974    |              |              | 339.914    |              |              |
| 3.98204    |              |          | 558.134    |              |              | 274.876    |              |              |
| 7.66553    |              |          | 709.926    |              |              | 333.002    |              |              |
| 8.68392    |              |          | 751.892    |              |              | 349.073    |              |              |
| 8.23928    |              |          | 733.569    |              |              | 342.056    |              |              |
| 7.96253    |              |          | 722.165    |              |              | 337.689    |              |              |

### TIEMPOS DE LOS ESCENARIOS 1 Y 2

| TC Bv   | TR Bv - B | TD B    | TC Bv   | TR Bv - C | TD C    |
|---------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 7       | 594       | 500     | 4       | 180       | 240     |
| 7.5     | 564       | 480     | 5       | 150       | 180     |
| 7       | 576       | 520     | 4       | 180       | 210     |
| 7.5     | 546       | 490     | 6       | 210       | 240     |
| 7.28031 | 572.121   | 499.293 | 4.85054 | 182.572   | 220.516 |
| 7.16253 | 563.878   | 492.324 | 4.45982 | 172.576   | 208.795 |
| 7.38248 | 579.272   | 505.34  | 5.18951 | 191.244   | 230.685 |
| 6.7978  | 538.351   | 470.741 | 3.24983 | 141.625   | 172.495 |
| 7.32891 | 575.523   | 502.17  | 5.01179 | 186.698   | 225.354 |
| 7.0446  | 555.624   | 485.345 | 4.06859 | 162.567   | 197.058 |
| 6.82596 | 540.322   | 472.407 | 3.34326 | 144.061   | 175.298 |
| 7.6705  | 599.431   | 522.384 | 6.14501 | 215.649   | 259.035 |
| 7.14989 | 562.993   | 491.576 | 4.41788 | 171.503   | 207.537 |
| 7.27099 | 571.469   | 498.742 | 4.81963 | 181.782   | 219.589 |
| 7.53043 | 589.627   | 514.095 | 5.68034 | 203.802   | 245.641 |
| 7.12809 | 561.468   | 490.286 | 4.34557 | 169.653   | 205.367 |
| 6.73983 | 534.293   | 467.31  | 3.05751 | 136.699   | 166.725 |
| 7.43192 | 582.733   | 508.265 | 5.35352 | 195.044   | 235.606 |
| 6.81651 | 539.665   | 471.848 | 3.31192 | 143.208   | 174.357 |
| 7.33389 | 575.872   | 502.465 | 5.02832 | 187.142   | 225.855 |
| 7.11481 | 560.538   | 489.5   | 4.30152 | 168.526   | 204.046 |
| 7.29548 | 573.183   | 500.192 | 4.90089 | 183.186   | 222.027 |
| 7.551   | 591.067   | 515.312 | 5.74856 | 205.547   | 247.457 |
| 7.39092 | 579.863   | 505.839 | 5.42175 | 191.961   | 231.525 |
| 7.42499 | 582.247   | 507.855 | 5.33051 | 194.852   | 234.915 |
| 6.77144 | 536.506   | 469.181 | 3.16238 | 139.382   | 169.871 |
| 7.35553 | 577.386   | 503.745 | 5.10011 | 188.957   | 228.003 |
| 7.51702 | 588.689   | 513.301 | 5.63584 | 202.663   | 244.075 |
| 7.44651 | 583.754   | 509.129 | 5.40194 | 196.679   | 237.058 |
| 7.40263 | 580.683   | 506.532 | 5.25635 | 192.954   | 232.695 |

| TC C    | TR C - Me | TD Me   | TC C    | TR C - P | TD P    |
|---------|-----------|---------|---------|----------|---------|
| 8       | 480       | 210     | 5       | 240      | 0       |
| 6       | 510       | 180     | 6       | 270      | 180     |
| 4       | 540       | 210     | 7       | 240      | 210     |
| 6       | 450       | 240     | 5       | 270      | 240     |
| 6.17149 | 499.067   | 212.572 | 5.85054 | 256.819  | 205.516 |
| 5.50507 | 483.262   | 202.576 | 5.45982 | 249.751  | 193.795 |
| 6.74963 | 512.779   | 221.244 | 6.18951 | 262.951  | 215.685 |
| 3.44131 | 434.315   | 171.623 | 4.24983 | 227.861  | 157.495 |
| 6.44652 | 505.59    | 216.698 | 6.01179 | 259.736  | 210.354 |
| 4.83779 | 467.436   | 192.567 | 5.06859 | 242.673  | 182.058 |
| 3.60066 | 438.095   | 174.014 | 4.34326 | 229.551  | 160.298 |
| 8.37934 | 551.431   | 245.690 | 7.14501 | 280.237  | 244.350 |
| 5.43354 | 481.565   | 201.503 | 5.41788 | 248.992  | 192.537 |
| 6.11877 | 497.817   | 211.782 | 5.81963 | 256.260  | 204.589 |
| 7.58679 | 532.634   | 233.802 | 6.68034 | 271.830  | 230.410 |
| 5.3102  | 478.64    | 199.653 | 5.34557 | 247.684  | 190.367 |
| 3.11328 | 426.535   | 166.699 | 4.05751 | 224.382  | 151.725 |
| 7.02936 | 519.414   | 225.440 | 6.35352 | 265.918  | 220.606 |
| 3.5472  | 436.827   | 173.208 | 4.31192 | 228.984  | 159.357 |
| 6.4747  | 506.258   | 217.120 | 6.02832 | 260.035  | 210.850 |
| 5.23507 | 476.858   | 198.526 | 5.30152 | 246.887  | 189.046 |
| 6.25736 | 501.104   | 213.860 | 5.90089 | 257.730  | 207.027 |
| 7.70315 | 535.394   | 235.547 | 6.74856 | 273.065  | 232.457 |
| 6.79738 | 513.911   | 221.961 | 6.21750 | 263.457  | 216.525 |
| 6.99013 | 518.483   | 224.852 | 6.33051 | 265.502  | 219.915 |
| 3.29214 | 430.777   | 169.382 | 4.16238 | 226.279  | 154.871 |
| 6.59715 | 509.163   | 218.957 | 6.10011 | 261.334  | 213.003 |
| 7.5109  | 530.834   | 232.663 | 6.63584 | 271.025  | 229.075 |
| 7.11195 | 521.372   | 226.679 | 6.40194 | 266.794  | 222.058 |
| 6.86363 | 515.483   | 222.954 | 6.25635 | 264.160  | 217.690 |

| <b>TC C</b> | <b>TR C – Ma</b> | <b>TD Ma</b> | <b>TC C</b> | <b>TR C - B</b> | <b>TD B</b> |
|-------------|------------------|--------------|-------------|-----------------|-------------|
| 8           | 300              | 240          | 8           | 540             | 180         |
| 5           | 330              | 270          | 5           | 570             | 210         |
| 7           | 270              | 210          | 7           | 510             | 210         |
| 7           | 330              | 240          | 7           | 540             | 240         |
| 6.88214     | 310.516          | 242.572      | 6.88214     | 542.572         | 212.572     |
| 6.36863     | 298.795          | 232.576      | 6.36863     | 532.576         | 202.576     |
| 7.32763     | 320.685          | 251.244      | 7.32763     | 551.244         | 221.244     |
| 4.77840     | 262.495          | 201.620      | 4.77840     | 501.620         | 171.620     |
| 7.09406     | 315.354          | 246.698      | 7.09406     | 546.698         | 216.698     |
| 5.85446     | 287.058          | 222.567      | 5.85446     | 522.567         | 192.567     |
| 4.90119     | 265.298          | 204.010      | 4.90119     | 504.010         | 174.010     |
| 8.58341     | 349.350          | 275.690      | 8.58341     | 575.690         | 245.690     |
| 6.31351     | 297.537          | 231.503      | 6.31351     | 531.503         | 201.503     |
| 6.84152     | 309.589          | 241.782      | 6.84152     | 541.782         | 211.782     |
| 7.97270     | 335.410          | 263.802      | 7.97270     | 563.802         | 233.802     |
| 6.21848     | 295.367          | 229.653      | 6.21848     | 529.653         | 199.653     |
| 4.52563     | 256.725          | 196.699      | 4.52563     | 496.699         | 166.699     |
| 7.54318     | 325.606          | 255.440      | 7.54318     | 555.440         | 225.440     |
| 4.85999     | 264.357          | 203.208      | 4.85999     | 503.208         | 173.208     |
| 7.11578     | 315.850          | 247.120      | 7.11578     | 547.120         | 217.120     |
| 6.16058     | 294.046          | 228.526      | 6.16058     | 528.526         | 198.526     |
| 6.94831     | 312.027          | 243.860      | 6.94831     | 543.860         | 213.860     |
| 8.06236     | 337.457          | 265.547      | 8.06236     | 565.547         | 235.547     |
| 7.36442     | 321.525          | 251.961      | 7.36442     | 551.961         | 221.961     |
| 7.51294     | 324.915          | 254.852      | 7.51294     | 554.852         | 224.852     |
| 4.66345     | 259.871          | 199.382      | 4.66345     | 499.382         | 169.382     |
| 7.21013     | 318.003          | 248.957      | 7.21013     | 548.957         | 218.957     |
| 7.91422     | 334.075          | 262.663      | 7.91422     | 562.663         | 232.663     |
| 7.60681     | 327.058          | 256.679      | 7.60681     | 556.679         | 226.679     |
| 7.41547     | 322.690          | 252.954      | 7.41547     | 552.954         | 222.954     |

## BIBLIOGRAFÍA

- Ballou, R. (1999). *Logística, Administración de la Cadena de Suministros*. Ciudad de Mexico: PEARSON EDUCATION.
- Cabrera, M. (Martes de Octubre de 2007). *Inteligencia Financiera*. Obtenido de [inteligenciafinanciera.blogspot.com](http://inteligenciafinanciera.blogspot.com)
- Carson, J. (2003). Introduction and Modelling to Simulation. *Winter Simulation Conference*. New Orleans.
- Coss, R. (2003). *Simulación, un enfoque práctico*. Ciudad de Mexico: Limusa.
- Echeverri, S. (2010). *MODELIZACION DE UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO PARA EL SECTOR TEXTIL- CONFECCION EN EL ENTORNO COLOMBIANO. Tesis de Maestría*. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
- García, F. (jueves de octubre de 2006). Simulación de una Cadena de Suministros en el Area Farmacéutica. Ciudad de Mérida, Venezuela.
- Guadalupe, C. (2008). *LOGISTICA INTERNACIONAL*. Recuperado el miercoles de septiembre de 2012, de <http://logisticainternacional2008.es.tl/campos-de-la-logistica-internacional.htm>
- Hernandez, A. m., & Alvarez, A. (2012). *MODELO PARA LA SIMULACION LOGISTICA EN LA EMPRESA COLTABACO S.A. Tesis de Grado*. Universidad Pontificia Bolivariana, MANIZALES.
- <http://www.programasde.com/>. (15 de Octubre de 2008). Obtenido de <http://www.programasde.com/promodel-simulador-de-procesos-industriales/>
- Quesada, V. M. (martes de noviembre de 2010). [www.uv.es/martinek/material/WinQSB2.0.pdf](http://www.uv.es/martinek/material/WinQSB2.0.pdf). Obtenido de [www.uv.es](http://www.uv.es)
- Quintas, I. (2012). Programación Lineal, El modelado, Las aplicaciones. (pág. 222). México D.F: UAM-X.
- Rivero, B., & Piedrahita, L. E. (2003). *Simulación con Promodel : casos de producción y logística*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenierías.
- Shannon, R. (1997). *Simulación de Sistemas*. Juarez: Trillas.
- Taha, H. A. (2004). *Investigación de Operaciones*. Mexico: Pearson Educación.