

**CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN  
EN MATERIALES  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**Modelo de escenarios de decisión para envíos de lotes fijos en  
inventarios con revisión periódica:**

**El Caso de Secuenciado en CEVA Logistics**

**TESIS**

**Que para Obtener el Grado Académico de Maestro en Ciencia y  
Tecnología en la Especialidad de Ingeniería Industrial y de  
Manufactura**

**Presenta**

**Darío Morones Ruelas**

**Saltillo, Coahuila, México. Diciembre 2011.**

Modelo de escenarios de decisión para envíos de lotes fijos en inventarios  
con revisión periódica: El Caso de Secuenciado en CEVA Logistics

Por

Darío Morones Ruelas

Tesis

**Presentada al programa Interinstitucional en Ciencia y Tecnología**

Sede

**Corporación Mexicana de Investigación en Materiales**

Como requisito parcial para obtener el Grado Académico de

Maestro en Ciencia y Tecnología

**Especialidad en Ingeniería Industrial y de Manufactura**

**Programa Interinstitucional en Ciencia y Tecnología COMIMSA/CONACYT**

Saltillo, Coahuila a Diciembre del 2011

**Corporación Mexicana de Investigación en Materiales**

**Gerencia de Desarrollo Humano**

**División de Estudios de Posgrado**

Los miembros del Comité Tutorial recomendamos que la Tesis “**Modelo de escenarios de decisión para envíos de lotes fijos en inventarios con revisión periódica: El Caso de Secuenciado en CEVA Logistics**”, realizada por el alumno Darío Morones Ruelas, matrícula **0906IM3049** sea aceptada para su defensa como Maestro en Ciencia y Tecnología con especialidad en Ingeniería Industrial y de Manufactura.

El Comité Tutorial:

---

**Dr. Miguel Gastón Cedillo**

**Campos**

Tutor Académico

---

**MC. José Olvera Leyva**

Tutor de Planta

---

**Dr. Pedro Pérez Villanueva**

Asesor

---

**MC. Claudia Aracely González**

**Rodríguez**

Coordinador de Posgrado

**Corporación Mexicana de Investigación en Materiales Gerencia de Desarrollo Humano División de Estudios de Posgrado**

Los abajo firmantes, miembros del Jurado del Examen de Grado del alumno, **Darío Morones Ruelas** una vez leída y revisada la tesis titulada “**Modelo de escenarios de decisión para envíos de lotes fijos en inventarios con revisión periódica: El Caso de Secuenciado en CEVA Logistics**”, aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por el alumno para aspirar al grado de Maestro en Ciencia y Tecnología con Especialidad en Ingeniería Industrial y de Manufactura durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente a los dos días del mes de diciembre del año dos mil once.

---

Dr. Luis Martín Torres Treviño

Presidente

---

Dr. José Luis Martínez Flores

Secretario

---

Dr. Luis Moncayo Martínez

Vocal

---

Dr. David González González

Vocal

---

Dr. Miguel Gastón Cedillo Campos

Vocal

## **Agradecimientos**

A **Dios**, por brindarme la fuerza y ganas, cuando el camino era difícil y complicado.

A mi **Esposa e Hijos, Aizza, Jonatán y Fernanda**, por darme una razón por la cual superarme.

A mis **Padres, Regino y María**, por hacerme sentir un motor importante en el funcionamiento de la familia.

A mi **Tutor Académico, Dr. Gastón Cedillo**, gracias a sus enseñanzas, conocí el mundo académico. Siempre conocedor del potencial que puede llegar la semilla plantada en el nuevo alumno.

A mis **Hermanos Ulises, Aníbal y Aquiles**, por indicarme hasta donde tiene que llegar la última piedra lanzada.

A mi **Tutor de Planta, MC. José Olvera**, por haber tomado el riesgo en aquella entrevista de trabajo.

A mis **compañeros de Posgrado, Jesús, Flavio, Susana, Esmeralda, Eva, Denise, Abraham, Marisol, Luis**, porque siempre fuimos 10 en todo.

A mis **maestros Giovanni, Marco, Mario, Mauricio, Darwin, David y Rolando** por enseñarme que no todo es conocimiento.

A mi **compañero de Planta, Gerardo** por su disponibilidad al escuchar mi análisis y deducciones.

A la **Universidad Autónoma de Coahuila**, gracias a su apoyo, por impulsar más mi carrera como catedrático.

## **Resumen Bibliográfico del Autor**

**Darío Morones Ruelas**, nació en la ciudad de Saltillo, Coahuila el día 28 de abril de 1977. Es hijo de Regino Morones y María Ruelas. Actualmente se desempeña como Profesor de la Universidad Autónoma de Coahuila en la Facultad de Ciencias de la Administración y en CEVA Logistics, Planta Ramos Arizpe, siendo sus áreas de interés la investigación de operaciones en la cadena de suministro y sistemas logísticos, mediante el enfoque de inteligencia artificial.

Se graduó como Ingeniero Industrial en Procesos de Manufactura en el Instituto Tecnológico de Saltillo entre los años 1994 y 1998, también cuenta la carrera de Contador Público, así como una Maestría en Administración con especialidad en Finanzas en la Facultad de Ciencias de la Administración.

En el campo profesional, del año 1998 al 1999 se desempeñó como analista en Estadística Industrial del departamento de Calidad en Cifunsa Planta I en Saltillo. Así mismo del año 1999 al 2002 se desempeñó como Coordinador de Mantenimiento e Ingeniería Industrial en PROESA en Ramos Arizpe. Del año 2002 al 2009 como Senior Carrier Management en Penske Logistics en Saltillo. Donde a partir del 2009 a la fecha desempeña el puesto de Coordinador de Operaciones en la empresa CEVA Logistics en Ramos Arizpe.

Ha sido profesor invitado del Tecnológico de Saltillo, así como asesor de práctica en COMIMSA, centro tecnológico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Cuenta con varias publicaciones, una de ellas ha sido seleccionada para exponerse en un prestigiado congreso internacional de su especialidad.

## Resumen

Actualmente, el secuenciado de materiales exige una alta sincronización de todos los procesos involucrados, sobre todo una continua adaptación y sencillez de los procesos. Debido a que en muchas ocasiones se trata de un prestador de servicios a terceros (3PL), el cliente lo evalúa con base en la entrega de material en la cantidad, lugar y momento exactos, al costo previamente pactado. De donde, la eficiencia en costos en los procesos que desarrolla el 3PL es fundamental para la obtención de sus ganancias. La actividad de secuenciado es altamente específica, ya que el cliente proporciona al 3PL información detallada sobre la cantidad, el lugar, la forma en que deben ser suministrados los materiales y sobre todo, el momento en el que debe hacerse. Para hacer posible esta tarea, en la mayoría de los casos el almacén del 3PL se encuentra a proximidad del punto de uso del material. Debido a la naturaleza ágil y dinámica del secuenciado, éste demanda un tiempo de respuesta corto, por lo que resulta ser una actividad en la que una gran cantidad de decisiones deben ser realizadas a criterio del tomador de decisiones. De hecho, las decisiones de envío ante una demanda dinámica requieren analizar la información de la demanda para cada periodo, por lo que realizar una planeación sobre periodos futuros no resulta claro. De este modo, la presente investigación tuvo como objetivo el desarrollar un modelo de apoyo a las decisiones de envío de material secuenciado con tamaño de lote fijo, usando una revisión periódica para los niveles de inventarios en estaciones de trabajo. Para ello se consideró un sistema de demanda continua con tiempo de respuesta corto, tomando como base el uso de un Algoritmo Genético realizando mapeos de las potenciales soluciones en las decisiones de envíos y evaluándolas para cada periodo de revisión. De forma operativa, el modelo propuesto toma como factor de selección de las decisiones, el nivel de inventario deseado por parte de la empresa de estudio considerando como inicio del algoritmo el nivel presente de inventario, con lo cual ajusta los cálculos, a las condiciones del sistema en el momento de realizar el análisis. Entre los resultados obtenidos están principalmente dos: i) El desarrollo de una metodología bajo un enfoque heurístico, para la modelación de escenarios de decisión y, ii) La aportación de un modelo de apoyo en las decisiones de envío de material secuenciado. El sistema fue aplicado con éxito en una empresa 3PL que pertenece al Cluster Automotriz de la Región Coahuila Sureste (CARCS). Dentro del Trabajo futuro, se prevé su ampliación para integrar el problema de los requerimientos en almacenamiento y control del material necesario para cumplir con los requerimientos del secuenciado.

## **Abstract**

Currently, the sequencing of materials requires high synchronization of all processes involved especially, a continuous adaptation and simplicity of the process. Because in many cases it is a third-party service provider (3PL), assesses the client based on the delivery of material in quantity, exact place and time, the previously agreed cost. Where, cost efficiency in the processes developed by the 3PL is critical to obtaining profits. Sequencing activity is highly specific, since the customer provides detailed 3PL quantity, location, how they should be provided the materials and above all, the time should be done. To facilitate this task, in most cases the 3PL warehouse is located close to point of use of the material. Due to the nature of the sequenced agile and dynamic, it requires a short response time, so it turns out to be an activity in which a large number of decisions must be made at the discretion of the decision maker. In fact, the decision to send dynamic demand information required to analyze the demand for each period, so to make a planning on future periods is unclear. Thus, this study aimed to develop a model of decision support sequenced delivery of material fixed lot size, using a periodic review inventory levels for workstations. This was considered a continuous demand system with short response time, based on the use of a genetic algorithm performing mapping of potential solutions in the decisions of submissions and assessments for each review period. Operatively, the proposed model takes as a selection factor for decisions, the inventory level required by the research company as the beginning of the algorithm considering the current level of inventory, which adjusts the calculations, the conditions of system at the time of analysis. The results obtained are mainly two: i) The development of a methodology under a heuristic approach to the modeling of decision scenarios and ii) Provision of a model of decision support material sent sequenced. The system was successfully applied to a 3PL company that belongs to the Automotive Cluster of Coahuila Southeast Region (CARCS). The future work is expected to be expanded to integrate the problem of storage requirements and control the equipment needed to meet the requirements of sequenced.





## **Contenido.**

Lista de Tablas	3
Lista de Figuras	4
<b>Capitulo 1. Introducción</b>	
1.1 Introducción	7
1.2 Planteamiento del Problema	9
1.2.1 Descripción del Problema	9
1.2.2 Preguntas de Investigación	13
1.2.3 Hipótesis General	14
1.2.4 Objetivo	15
1.2.5 Justificación del Problema	16
1.2.6 Delimitación del Proyecto	18
1.3 Marco de Referencia	
1.3.1 Contexto General de la Investigación	19
1.3.2 Servicio del Secuenciado en la Industria Automotriz	21
1.4 Enfoque de Investigación y Metodología	23
1.5 Organización de la Investigación	25
<b>Capitulo 2. El papel del 3PL en el servicio del secuenciado</b>	
2.1 Introducción	28
2.2 Inventarios con revisión periódica y niveles s, S	31
2.3 Participación del 3PL en la Industria Automotriz	34
2.4 Participación del secuenciado en la Industria Automotriz	37
2.5 Conclusiones	40

### **Capitulo 3. Enfoque de Investigación y Metodología**

3.1	Introducción	42
3.2	Formulación del Problema	44
3.3	Desarrollo del Modelo	44
3.3.1	Análisis de la situación actual del sistema	47
3.3.2	Definición de las Variables	48
3.3.3	Formulación del Modelo	51
3.3.4	Aplicación y Evaluación del Modelo	55
3.4	Soporte integrado de decisión	60
3.5	Conclusiones	62

### **Capitulo 4. Experimentación y Análisis de Resultados**

4.1	Introducción	64
4.2	Aplicación del Algoritmo Genético en el secuenciado	65
4.3	Convergencia y pruebas Estadísticas	73
4.4	Validación del Sistema	78
4.5	Conclusiones	80

### **Capitulo 5. Conclusiones**

5.1	Introducción	82
5.2	Investigación Futura	88

### **Bibliografía**

Anexo A – Carta de liberación de empresa.

Anexo B – Algoritmo Genético.

## **Lista de Tablas.**

2.1 Política de inventarios de revisión periódica	34
2.2 Los servicios de logística que las empresas buscan subcontratar	35
2.3 Índice de desempeño logístico 2010	36
3.1 Nueve pasos para simular el proceso	42
4.1 Estaciones de trabajo entre la salida de pintura y el punto de uso de la familia	69
4.2 Datos de entrada del Algoritmo Genético en hoja de cálculo	70
4.3 Cromosoma de salida para la Q optima	71
4.4 Resultado de salida para los niveles s, S durante 19 periodos de estimación	71
4.5 Prueba de igualdad de Varianzas	76
4.6 Prueba T para dos muestras	77

## **Lista de Figuras.**

1.1 Flujo de una orden de secuenciado	11
1.2 Áreas que influyen en el proceso de secuenciado de la empresa de estudio	12
1.3 El proceso de investigación abductiva	23
1.4 Representación de la metodología del proyecto de Investigación	24
1.5 Organización de la Investigación	26
2.1 La interacción de las áreas de colaboración logística 3PL	30
2.2 Porcentaje de artículos que abordan 5 diferentes áreas de decisión	37
2.3 Procesos de planeación de la secuencia en líneas de ensamble	38
3.1 El modelo de Ciclo de Vida Balci-Nance para un Proyecto de Simulación	43
3.2 Representación para un Modelo de Sensibilidad	45
3.3 Diagrama propuesto de actividades para el proyecto de investigación	46
3.4 Comportamiento de familias de partes durante un periodo de revisión	48
3.5 Diagrama MIFA para el proceso de secuenciado	49
3.6 Representación de la cobertura de un componente de vehículos en la línea	50
3.7 Representación de Políticas de Operación	52
3.8 Representación de los pasos para la formación del Algoritmo Genético	56
3.9 Errores de Qi contra nivel deseado	58
3.10 Promedio similar para dos diferentes operaciones	61
4.1 Empresas en que presta servicios logísticos, CEVA Logistics en el mundo	66
4.2 Producción real contra la programada en una línea de modelos mixtos	67

4.3 Requerimiento de los modelos en una línea mixta de modelos en un turno	67
4.4 Numero de vehículos en el túnel de pintura durante 2 días de producción	68
4.5 Grafica de dientes de sierra representando los niveles s, S	71
4.6 Representación de paralelogramo para el nivel de inventario con demanda	72
4.7 Gráfica del nivel de inventario con representación de paralelogramo	72
4.8 Promedio en los niveles s, S del mejor individuo en cada generación	73
4.9 Grafica comparativa de resultados reales vs modelo	74
4.10 Gráfica de Normalidad de los datos del Reales	75
4.11 Grafica de Normalidad de los datos del Modelo	75
4.12 Grafica de Prueba de Varianzas de los Datos	76
4.13 Gráfica de Caja	77
4.14 Gráfica de nivel de inventario con base al reporte de críticos	78
4.15 Gráfica de nivel de inventario con base al sistema propuesto	79

## **Capítulo 1.**

### **Introducción**

## **1.1 Introducción.**

La administración de operaciones ha sido pieza clave para el buen uso de los recursos que participan en la elaboración o distribución de los productos. La adecuada aplicación de la misma ayuda a cumplir con los requerimientos del cliente y objetivos de la organización (Robbins y Couter, 2005).

Dentro de la administración de operaciones, el secuenciado es un proceso clave en sectores industriales donde el tiempo de respuesta es fundamental (Ballou, 2009). Por ejemplo, el sector del autoservicio a través de los años ha enfocado sus esfuerzos al mejor control de inventarios en los estantes de productos ofrecidos a los clientes. De hecho, es en este sector donde se ha tenido un mayor desarrollo en cuanto a modelos eficientes para el abastecimiento de productos en el tiempo y cantidad adecuada. Sin embargo la industria electrónica, es también un sector industrial que aporta innovaciones en cuanto al secuenciado y control de inventarios cerca de la línea de producción (Meyr, 2004).

Otro sector donde se ha desarrollado este enfoque de operaciones es la industria automotriz. Actualmente en ella se utilizan proveedores capaces de suministrar directamente en la línea de ensamble manteniendo el control de los inventarios en las estaciones de trabajo. Este tipo de abastecimiento es controlado a través de sistemas de información, los cuales coordinan los requerimientos de producción enviando requerimientos a los proveedores de la cadena de suministro.

Para las grandes corporaciones con extensas redes de suministro, la coordinación se vuelve compleja y por lo tanto susceptible a fallas, las cuales por lo general impactan en mayor medida en el abastecedor final de la línea de



producción. Dado que el abastecedor final debe cumplir con los requerimientos en forma exacta y oportuna en el punto de uso, existen políticas de abastecimiento a la línea de producción que el proveedor debe seguir. De hecho, el incumplimiento de esas políticas conlleva a sanciones económicas muy altas.

Por ejemplo, en 2005, para el caso de un proveedor de servicios logísticos de clase mundial, una sola locación incurrió, solo por concepto de penalizaciones, en \$ 500,000 dólares debido a 3 paros en un año con un costo de \$500 dólares el minuto. En definitiva, estos cargos pueden llevar a una empresa a condiciones económicas ajustadas. En sectores competitivos como el de la industria automotriz eso puede significar salir del mercado.

Desarrollar modelos eficaces de secuenciado puede traer beneficios no solo para las empresas del sector automotriz, sino que también, al ser un proceso logístico utilizado en la mayoría de los sectores industriales competitivos, es por lo tanto, susceptible de generalizar su aplicación a otros sectores industriales. De hecho el JIT (Justo a Tiempo) es un modelo desarrollado en la industria automotriz que se ha difundido al resto de los sectores (Santos et al, 2006).

Con el interés de reducir el riesgo de ruptura de abastecimiento, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo el desarrollar un modelo de Revisión Periódica para el Control de Inventarios de Material Secuenciado en Estaciones de Trabajo. El entregable final evaluará los escenarios de decisiones con relación a la interacción de las cuatro políticas de operación bajo las cuales actualmente se organiza la empresa de estudio.

De manera específica, este trabajo presenta una herramienta de ayuda para la toma de decisiones de envíos de carros de secuenciado. Dichas decisiones se toman con base en una revisión periódica bajo periodos de respuesta cortos. Esto es en el surtido de estaciones de trabajo para la línea de vestiduras dentro de la empresa GM Ramos Arizpe.

Si bien actualmente la mayoría de las empresas realizan el proceso de toma de decisiones con base en la experiencia del tomador de decisiones (Desde el punto de vista práctico), este es susceptible de mejorarse considerando herramientas avanzadas como algoritmos genéticos.

Los resultados obtenidos son importantes debido a que se obtuvo un modelo que se ajusta al comportamiento de decisión de los envíos por parte del personal de embarques del secuenciado. Lo cual ofrece un soporte a la decisión que pueda elegirse en el momento de envío, dando la oportunidad de visualizar un escenario posible con base en la combinación de envíos arrojados. En consecuencia, la aportación desarrollada se estima es de interés tanto para tomadores de decisión, como para investigadores interesados en la aplicación de un nuevo enfoque de análisis logístico al secuenciado.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

En esta sección se desarrolla en forma detallada el entorno del problema, estableciendo los límites del problema, objetivos, hipótesis y justificación. Se exponen los pasos en la elaboración de la investigación.

### **1.2.1 Descripción del Problema**

Con la aceptación del JIT como filosofía de organización logística, las industrias han enfocado sus esfuerzos en la reducción de los inventarios en planta orientándolo a tener únicamente lo necesario para la producción. Esto ha orillado a los proveedores de servicios logísticos a tener tiempos de respuesta muy cortos e inflexibles en el último eslabón de la cadena de suministro (Kumar, 2010).

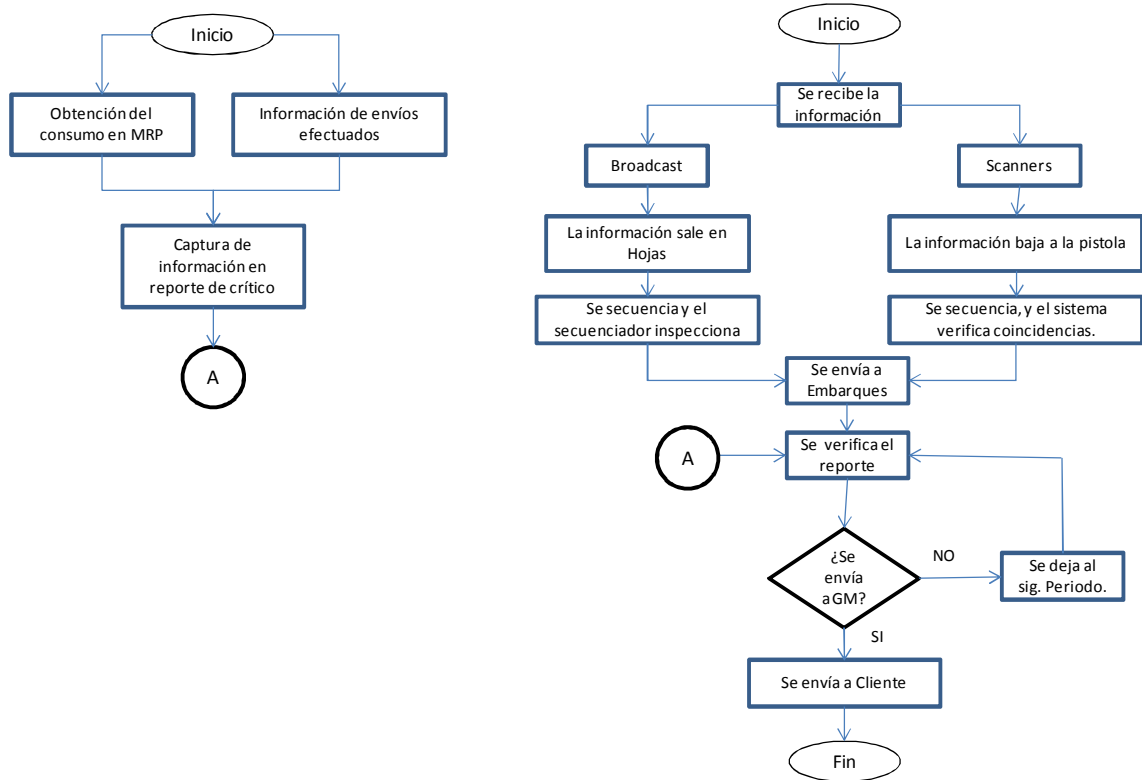
Es en este eslabón donde los costos son difíciles de percibir debido al alto nivel de rotación de inventarios y nivel de actividad de envío, por lo que son manejados con política de costos fijos pactados. Debido a los cortos tiempo de

tránsito entre el cliente y el almacén, los inventarios en tránsito y en punto de uso están considerados como entregados al cliente. Esto es, una vez que los materiales salen del almacén, son parte del inventario del cliente aunque físicamente aún no lo sean. Así, el inventario en tránsito puede llegar a representar más del 50% del inventario calculado para cada estación de trabajo.

En la empresa de estudio, los envíos son controlados con base en una revisión periódica de los niveles de inventarios (s,S), donde la decisión de envío es tomada considerando la interpretación realizada de estos niveles. Esta decisión es formada por el personal de embarques, el proceso de una orden de secuenciado se puede ver en la figura 1.1.

Aún y cuando esta forma de trabajo ha funcionado cubriendo las necesidades actuales, se ha detectado que el nivel de inventario mantiene un comportamiento inestable y poco confiable por lo que se busca establecer un criterio de envío que mantenga un nivel de inventario adecuado a los requerimientos del cliente. Para ello, se realizó un análisis específico.

De este modo, se detectó que el requerimiento del material secuenciado es ordenado por parte del cliente, una vez que el proceso de pintura realiza la venta de unidades, las cuales entran al túnel de pintura con dirección al área de vestiduras, (que es en donde se encuentran las estaciones de trabajo). El tiempo de Respuesta se calcula a partir de que la unidad entra al túnel de pintura hasta las unidades que tarda en llegar al punto de instalación.



**Figura 1.1.** Flujo de una orden de secuenciado (Fuente: Elaboración Propia)

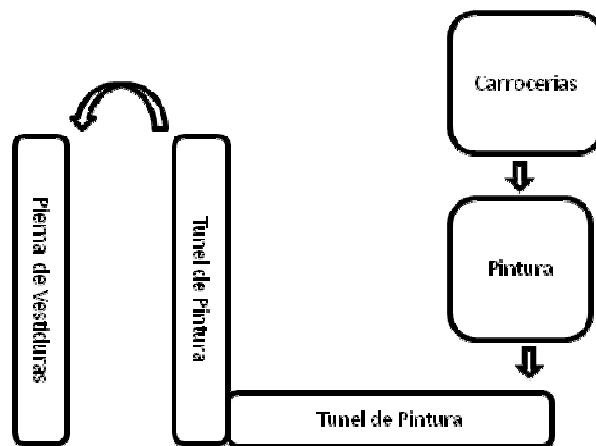
Una vez que las unidades entran a vestiduras, la tasa de producción se mantiene constante, pero no así el proceso de pintura, el cual utiliza al túnel de pinturas para abastecer a vestiduras como un inventario de seguridad para soportar los diversos problemas que se puedan presentar en el surtido de unidades.

Es por eso que cuando el número de vehículos dentro del túnel de pintura disminuye, también lo hace el tiempo disponible para colocar las piezas en las estaciones de trabajo. La variación que se tiene en los niveles de inventarios hace que la decisión de envió tenga comportamientos diferentes en los niveles de inventario, con lo cual, se tiene el riesgo de sufrir el desabasto.

La velocidad con la que puede avanzar una unidad en el túnel de pintura cuando este se encuentra sin unidades, es 4 veces mayor de la velocidad de

avance que normalmente sucede con unidades. De hecho, cuando existe un “vacío de unidades” dentro del túnel, la unidad que entra en el túnel aumenta la velocidad para alcanzar lo antes posible a las unidades precedentes, la figura 1.2 muestra las áreas de producción del vehículo que influyen en el proceso del secuenciado de la empresa de estudio.

La mezcla de los modelos es estimada a partir del número de vehículos totales a producir en la línea entre los diferentes tipos de modelos, los cuales llevan una secuencia alternada en la línea para dar oportunidad a cada estación de abastecer a cada vehículo con una opción requerida. Esta mezcla puede ser alterada por la imposibilidad de abastecer un modelo por parte del área de pintura, la cual sufre constantes problemas de acabado.



**Figura 1.2.** Áreas que influyen en el proceso de secuenciado de la empresa de estudio (Fuente: Elaboración propia).

### **1.2.2 Preguntas de Investigación**

Analizando la problemática anteriormente descrita, seis preguntas de investigación se plantearon para este proyecto de investigación:

1. ¿Cómo planear y mantener inventarios con un nivel de cobertura deseado?
2. ¿Cuáles son las variables críticas que permiten determinar las frecuencias de viajes para abastecimiento de la línea de GM desde el almacén?
3. ¿Cómo contrarrestar la variabilidad que se tiene con respecto al nivel de cobertura deseado?
4. ¿Cómo coadyuvar a reducir el riesgo de paros de línea en GM?
5. ¿Cómo obtener un control sobre los niveles actuales de Inventario?

### **1.2.3 Hipótesis General**

Al diseñar un modelo cuantitativo que considere la variabilidad generada en los inventarios como resultado de la interacción que presentan la frecuencia de envío y la demanda de producción, se tendrá una base para la toma de decisiones que posibilite un mayor y mejor control de los riesgos de desabasto de línea.

## **1.2.4 Objetivo**

### **1.2.4.1 Objetivo General**

Diseñar e implementar un modelo cuantitativo basado en la revisión periódica de inventarios para el secuenciado que minimice el riesgo de desabasto, permitiendo al mismo tiempo la estabilización del banco de surtido en el punto de uso para los envíos ordenados con base al consumo.

### **1.2.4.2 Objetivos Particulares**

- Conocer la secuencia de envíos que corresponda con la variación del tiempo de respuesta.
- Obtener la secuencia de envío en un tiempo determinado.
- Calcular envío de material en base a políticas de consumo.
- Desarrollar un formato de información de fácil uso por parte de los secuenciadores.
- Coadyuvar a reducir el riesgo de paros de línea en estaciones de trabajo.
- Llevar un mejor control de inventarios en punto de uso.
- Mejorar el nivel de servicio logístico percibido por el cliente.
- Planear la mejor utilización de los recursos.
- Calcular niveles de cobertura adecuados.



### **1.2.5 Justificación del Problema.**

Un mejor control de los envíos de material secuenciado conlleva a una mejor interpretación de la relación entre los envíos de lotes fijos y la demanda continua. Debido al alto costo de penalización por el incumplimiento de surtido de piezas al cliente, la empresa tiene interés por llevar un mejor control de los envíos de material secuenciado. Se ha tenido en mente que a medida que se vaya satisfaciendo la necesidad del cliente, se tendrá la posibilidad de participar en mejores proyectos.

El presente proyecto surge como respuesta preventiva al alto costo de penalización por concepto de paro de línea que las empresas armadoras imponen a sus proveedores de servicio logísticos. Una seria amenaza para la rentabilidad de cualquier proveedor que se encuentre dentro de una cadena de suministro automotriz.

Para la industria manufacturera que utiliza el servicio de secuenciado, es importante determinar cómo afecta los envíos de lotes en los niveles de inventarios, para disminuir el riesgo de desabasto. Para las grandes corporaciones con extensas redes de suministro, la coordinación se vuelve compleja y por lo tanto susceptible a fallas, las cuales por lo general impactan en mayor medida en las operaciones del prestador de servicios de secuenciado a la línea de producción (3PL). Dado que el 3PL debe cumplir con los requerimientos en forma exacta y oportuna en el punto de uso, existen políticas de abastecimiento a la línea de producción que deben ser seguidas de manera meticulosa.

Actualmente, debido a la preocupación por incrementar la reactividad ante la demanda, en la mayoría de las empresas con operaciones en mercados emergentes la toma de decisiones es altamente basada en la experiencia. Esta

investigación muestra que el proceso de envío de material secuenciado es susceptible de mejorarse si se considera el uso de herramientas avanzadas que ayuden en la evaluación de escenario de envíos.

En consecuencia, con el interés de contribuir en la reducción del riesgo de ruptura de abastecimiento a la línea final de ensamble de vehículos, el presente documento tiene como objetivo el exponer un modelo de Revisión Periódica para el Control de Inventarios de Material Secuenciado en Estaciones de Trabajo. El modelo desarrollado permite evaluar los escenarios de decisiones con relación a la interacción de las cuatro políticas de operación bajo las cuales actualmente se organiza la empresa analizada.

### **1.2.6 Delimitación del Proyecto**

La exigencia y el nivel de servicio que se pide al momento de la contratación de un servicio 3PL, ha llevado a los proveedores a personalizar el servicio adaptándolo a la situación actual de la demanda del cliente. El interés por llevar un mejor control en el proceso de envío, debido a altos costos de penalización por desabasto de material, ha orillado a dirigir los esfuerzos hacia la reducción del riesgo de desabasto.

Es por esto que la presente investigación tiene como objetivo el desarrollar un modelo que considere el envío de material secuenciado con tamaño de lote fijo, usando una revisión periódica para los niveles de inventarios, en estaciones de trabajo. Se busca tener una herramienta que fortalezca la decisión de envío para mantener las coberturas deseadas por parte de la empresa de interés que son afectadas por la demanda del cliente. Del mismo modo, la presente investigación no tuvo como objeto de estudio: i) el almacén de donde se proveen las piezas para el material secuenciado, ni ii) la asignación de transporte.

Para el desarrollo de este modelo se consideraron supuestos de operación, como es la identificación de inventarios con revisión periódica, un suministro infinito de piezas, y una demanda con distribución Poisson.

## **1.3 Marco de Referencia**

### **1.3.1 Contexto General de la Investigación.**

La logística se encarga de la planificación, control, realización y supervisión del material dentro de la red de suministro, así como del flujo de información necesaria a lo largo de toda la cadena de valor (Ballou, 2009). El creciente número de opciones en las partes automotrices y su combinación durante el proceso de producción de vehículos, conduce a un enorme número de combinaciones posibles. La complejidad resultante debe ser manejada cumpliendo con los objetivos logísticos, como son la certeza de fechas compromiso, y plazos cortos de entrega. De ahí que la integración de nuevas tecnologías y métodos de control, han sido herramientas de éxito para alcanzar los objetivos logísticos (Windt y Hülsmann, 2007).

La logística en la industria automotriz ha desempeñado un rol clave integrando y sincronizando los flujos de información del material, obteniendo así un equilibrio entre la eficiencia y la confiabilidad. El desarrollo de estos objetivos está a cargo de los proveedores logísticos (3PL) que cuentan con instalaciones, recursos y experiencia, incrementando el intercambio de información, y edificando relaciones de trabajo sólido que disminuyen la incertidumbre en el ciclo de vida del producto (Trappey et al, 2010).

De acuerdo con Gunasekaran et al (2003) los objetivos principales detrás del interés por la contratación de un proveedor externo de servicios logísticos son:

- Reducción de los costos operativos.
- Manejar mejor las fluctuaciones de la demanda.
- Reducir la inversión de capital.

El proveedor externo surge como respuesta a los problemas generales, de logística en la empresa, los cuales incluyen: i) información retrasada y falta de

exactitud, ii) servicios incompletos, iii) operaciones lentas e ineficientes, y iv) una alta tasa de daños al producto. Todo lo cual tiene como posibles consecuencias: i) la imposibilidad de prestar servicios relacionados entre sí, ii) altos costos de funcionamiento, iii) alta tasa de inexactitud, y iv) la falta de flexibilidad para responder a las necesidades cambiantes de la demanda.

Trabajos recientes en la gestión de la cadena de suministro ha sugerido que un nuevo paradigma está emergiendo sobre la base de una cadena de suministro más sofisticada. Actualmente entre los factores de negociación, se pueden distinguir: el desempeño logístico (la velocidad de entrega que abarca, confiabilidad, etc), la tecnología (sobre todo las capacidades de TI relacionadas), atributos de relación (por ejemplo, la comprensión del cliente, y el ajuste entre las culturas), flexibilidad (poder para responder a cambios en los requisitos), así como una serie de otros factores de cambio social que no encajan fácilmente en estas categorías (tales como la reputación, la capacidad de innovar, y la participación de gestión) (Anderson et al, 2010).

Típicamente las funciones logísticas subcontratadas son: i) aprovisionamiento de mercancías, ii) aduanas y iii) consolidación de carga, iv) almacenamiento público, v) almacenamiento contractual, vi) el cumplimiento de pedidos, vii) distribución y viii) gestión de la carga de salida a los clientes. Un 3PL también puede ofrecer servicios como: i) el re-embalado, ii) el montaje y iii) la logística de retorno. El proveedor 3PL gestiona y ejecuta las funciones logísticas a través de sus propios activos y recursos, en nombre de la empresa del cliente (Chlañ y Gottfried, 2010).

La tendencia nos muestra que la personalización de los servicios logísticos es pieza clave en la satisfacción del cliente. Donde se enfatiza la importancia de la capacidad general para resolver problemas y de la posibilidad de someterse a las adaptaciones de los clientes en los sistemas y procedimientos logísticos. Las mejoras en el rendimiento suelen incluir la reducción del costo, del tiempo

de ciclo, del manejo más eficiente de las excepciones, así como de un mejor sistema de respuesta, donde la lealtad es un concepto valioso, producto de la satisfacción que refleja el éxito a largo plazo de una relación (Large, 2010).

### **1.3.2 Servicio del Secuenciado en la Industria Automotriz**

Hoy en día los fabricantes de productos terminados buscan reorganizar su suministro de materia basándose en stocks a consignación de terceros que surta la línea de montaje con el material necesario. El material se entrega justo a tiempo por los proveedores a un almacén operado por un proveedor de logística (3PL) adyacente a la línea de producción. Todo con el fin de reducir el inventario existente en posesión del fabricante (Fliedner et al, 2010).

Si bien tradicionalmente la minimización de los costos de producción ha sido considerada como el objetivo principal, la atención se ha desplazado hacia la rápida reposición y la mejora del rendimiento logístico. Los inventarios de productos acabados son simplemente considerados como amortiguadores entre la fabricación y la fase de distribución de la cadena de suministro. Donde se ha puesto más atención a modelar las características específicas del proceso de producción, los cuales son de gran valor en las soluciones reales de problemas de planificación (Bilgen y Günther, 2009).

La actividad principal del secuenciado es la entrega a tiempo de racks individuales directamente en la línea de montaje final debido al limitado espacio en la fábrica sobre todo en la línea de montaje. Dado que los sistemas de producción “Justo en Secuencia” (JIS) deben operar bajo condiciones de demanda estable, el objetivo es reducir el nivel de inventario al mínimo sin buffers, y luchar por la reducción de residuos. En la práctica, los inventarios en ciclo representan una relación del inventario promedio del número total de unidades producidas. Su tamaño depende de las condiciones de las entregas, tales como la distancia y el tiempo de entrega del proveedor, así como su frecuencia de entrega (Wagner y Silveira, 2010).

El espacio disponible en las estaciones suele ser muy escaso y a menudo es violado por los modelos de programación para la secuencia. Las piezas normalmente son almacenadas y trasladadas en algunos tipos de unidades de manejo (carros), así las partes llegan en cantidades discretas. La amplia gama de proveedores se consolida y se almacena en un depósito de lote adyacente a la línea. Así, las piezas son transferidas al stock en consignación del 3PL cerca de la línea donde se montan las unidades (Boysen, Fliedner y Scholl. 2009).

Actualmente la industria automotriz utiliza proveedores capaces de suministrar directamente en la línea de ensamble manteniendo el control de los inventarios en las estaciones de trabajo. Este tipo de abastecimiento es controlado a través de sistemas de información, los cuales coordinan los requerimientos de producción, enviando requerimientos a los proveedores de la cadena de suministro.

Para la industria manufacturera que utiliza el servicio de secuenciado, es importante determinar cómo afecta los envíos de lotes, en los niveles de inventarios para disminuir el riesgo de desabasto. Esta investigación mostró que el proceso de envío de material secuenciado es susceptible a mejorarse si se considera el uso de herramientas avanzadas, como lo son los Algoritmos Genéticos que ayuden en la selección de un escenario de envíos.

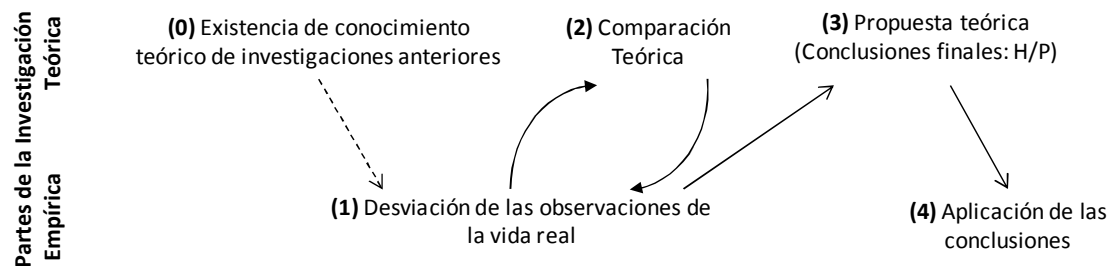
El modelo expuesto ofrece un soporte a la decisión en el momento de envío, ya que los resultados son presentados en un corto lapso de tiempo, proporcionando una solución factible que permite regularizar el nivel de inventario del cliente. De hecho, se facilita el análisis de escenarios posibles con base en la combinación de las cantidades de envíos que el modelo presenta al usuario.

En este sentido, un escenario de decisión es la opción codificada binaria de envío o no envío de material durante los periodos de revisión que afectan los niveles de inventario para un tiempo de predicción determinado. Esto es el

resultado de la interacción del envío de lotes fijos con la demanda continua, para un proceso secuenciado. El uso de lotes fijos es determinado como consecuencia de la capacidad de envío de partes secuenciadas en carros, y limitan el tamaño de la difusión de información disponible en cada hoja de trabajo.

#### 1.4 Enfoque de Investigación y Metodología.

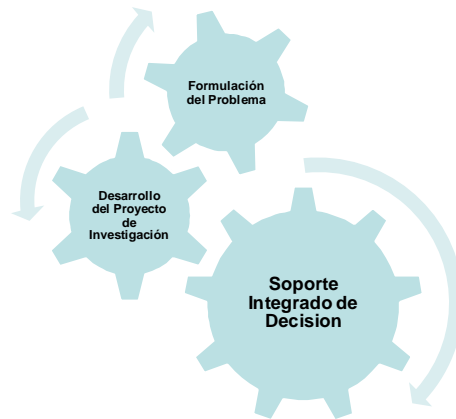
La investigación utiliza un enfoque de investigación abductiva (ver Figura 1.3), tomando como inicio para el presente trabajo el conocimiento práctico obtenido del funcionamiento del sistema de secuenciado. Analizando particularidades en situaciones específicas del proceso que ayudaron a determinar los aspectos teóricos que permitieron generalizar su funcionamiento (Kovás y Spens, 2005).



**Figura 1.3.** El Proceso de investigación abductiva (Fuente: Kovacs y Spens, 2005)

La metodología se desarrollo en tres etapas (Figura 1.4). Donde la primera etapa consistió en la formulación del problema, la segunda etapa consistió en el desarrollo del modelo de investigación, y la tercera etapa consistió en el soporte integrado de decisión.





**Figura 1.4.** Representación de la metodología del proyecto de Investigación.  
(Fuente: Elaboración Propia)

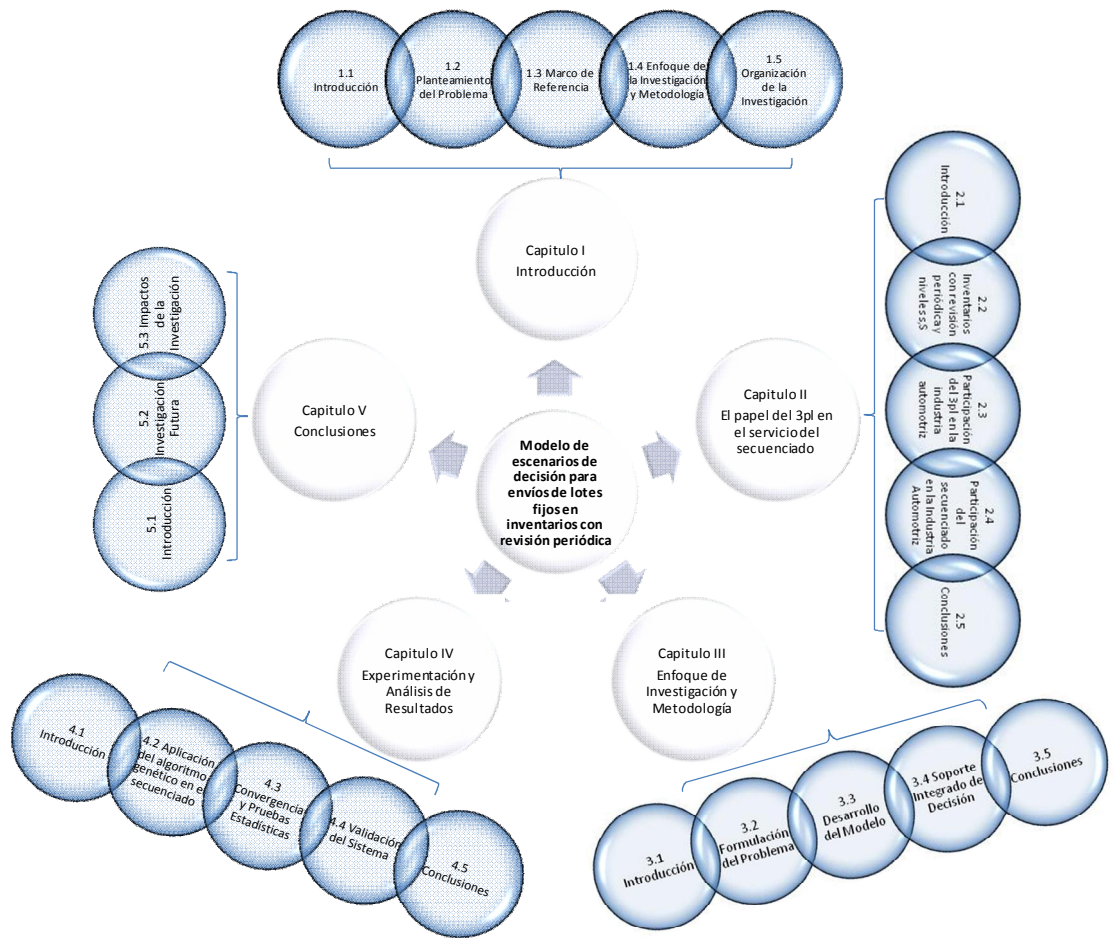
De manera específica para la empresa de interés, los inventarios son llevados en periodos de revisión periódica a través de niveles  $s$  y  $S$ , los cuales se envían en cantidades discretas fijas y bajo un criterio personalizado según la información con la que cuentan en el momento del periodo.

Identificando que se utiliza una capacidad heurística en el criterio de envío y que el sistema presenta restricciones de operación, una forma que considera estos dos requisitos en su técnica son los Algoritmos Genéticos. Dado que el Algoritmo genético es una heurística de búsqueda utilizada para resolver problemas de optimización global (Rajkumar y Shahabudeen, 2009).

La modelación matemática como representación de los niveles  $s$ ,  $S$  se restringe a la relación entre la demanda y el suministro de material y requiere de varios supuestos operacionales debido a su complejidad matemática; por lo que se utilizó un mapeo de las series continuas en un tiempo de los niveles  $s$ ,  $S$  de forma estocástica, tomando como punto de jerarquización el nivel promedio establecido por la empresa de interés.

## **1.5 Organización de la Investigación.**

La presente investigación está organizada en cinco capítulos (ver Figura 1.5). El capítulo 1 trata al planteamiento del problema de la investigación y en él se puede encontrar el uso del justo a tiempo como principal medio de la coordinación de operaciones. Donde su correcto funcionamiento se garantiza con altas penalizaciones de desabasto, siendo el actual sistema operativo de la empresa de estudio. Ahí se explica el planteamiento del problema, formulación de preguntas de investigación, hipótesis, objetivo, justificación y delimitación se formula el proyecto de investigación, apoyado por un marco de referencia sobre: i) logística en la industria automotriz, ii) funciones logísticas, iii) servicio de secuenciado y iv) un enfoque de investigación abductiva. El capítulo 2, describe el papel del 3PL en el servicio del secuenciado dando un marco de referencia sobre la gestión de la cadena de suministro para la colaboración multi organizacional. Presenta una exploración de los inventarios con revisión periódica con niveles  $s$ ,  $S$  como parte del funcionamiento de la empresa de estudio mostrando la participación del 3PL dentro de la industria automotriz. En el capítulo 3, denominado enfoque de investigación y metodología, se menciona la aplicación del enfoque abductivo como medio para la realización del proyecto de investigación. Siguiendo este enfoque se expone: i) situación actual del sistema, ii) variables, iii) modelo cuantitativo y iv) la aplicación y evaluación del modelo. En el capítulo 4, se presenta la experimentación y análisis de resultados por medio de la aplicación del modelo cuantitativo desarrollado a través de un algoritmo genético, mostrando a su vez pruebas de estadística y convergencia. Finalmente, en el capítulo 5 se presentan las conclusiones del proyecto de investigación y líneas futuras de investigación.



**Figura 1.5.** Organización de la Investigación. (Elaboración propia).

## **Capitulo 2.**

**El papel del 3PL en el servicio del secuenciado.**

## **2.1 Introducción.**

Los fabricantes de vehículos son cada vez más conscientes de que la integración de proveedores mejora el desempeño de la cadena de suministro en su conjunto. De hecho, la incorporación de la palabra "red " en el término de la gestión de la cadena de suministro fue un intento de hacer la cadena de suministro más amplia y más estratégica al adoptar con mayor eficacia el potencial de la red (Meyr, 2004). Una característica importante de negocio logístico es la formación de alianzas estratégicas, todas encaminadas a lograr los objetivos estratégicos mutuos. Al reducir los costos, sin afectar al producto o servicio, las organizaciones se han centrado en la técnica para manejar las operaciones más allá de sus límites organizativos. Esto ha creado un enfoque más sistemático e integrado adoptado por organizaciones líderes en el desarrollo del concepto de estrategia de abastecimiento (Sánchez C. et al, 2008; Bennett y Klug, 2009).

Las piezas que son producidas por una amplia gama de proveedores en la industria automotriz son consolidadas generalmente por un proveedor de servicios logísticos (3PL), el cual realiza entregas justo a tiempo a los stocks de consignación propia junto a la línea de producción. El fabricante realiza un envío de material una vez que el almacenamiento intermedio se encuentra por agotarse en la estación respectiva de trabajo antes de ser necesitada. Al momento de realizarse el envío, las piezas pasan por un sistema de facturación en línea del fabricante (Boysen, Fliedner y Fliedner, 2007).

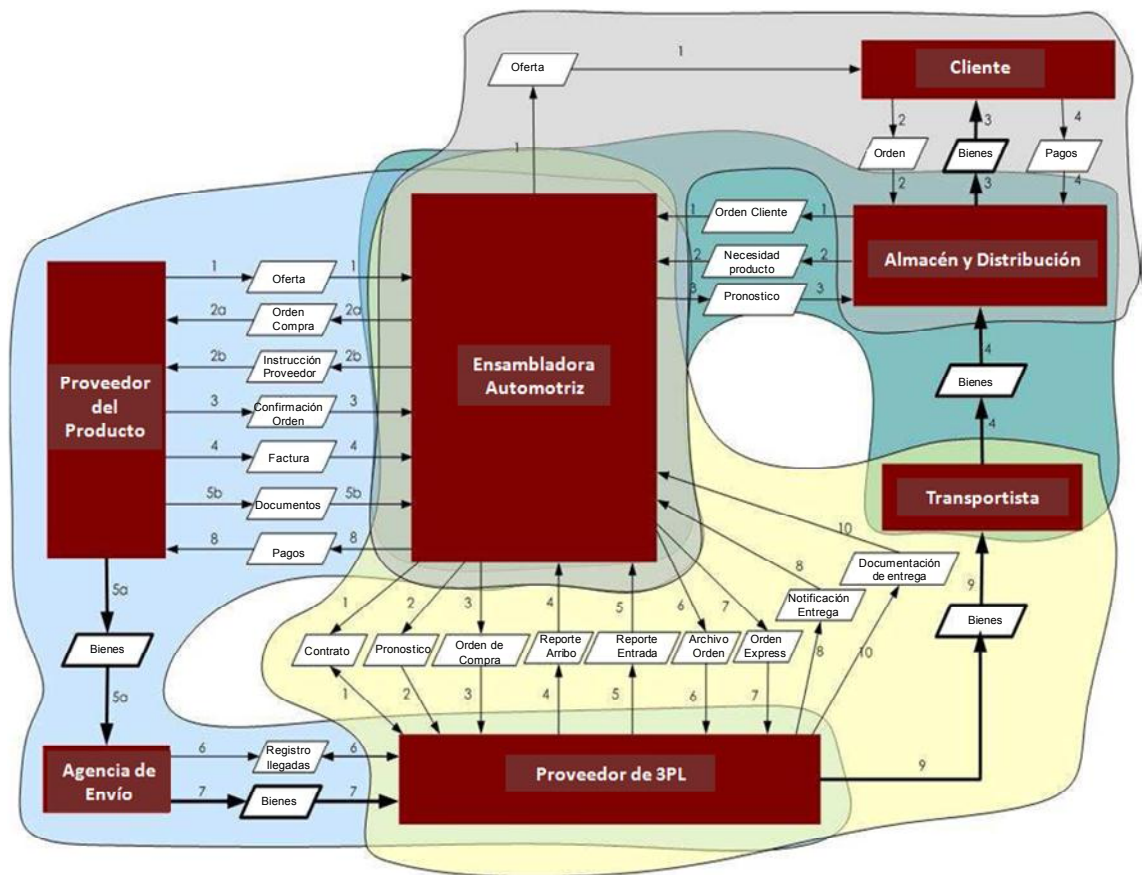
El establecimiento de una nueva ubicación para la producción o distribución en general resulta ser una propuesta costosa de recursos para la mayoría de las organizaciones. Cuando los recursos son escasos, es importante que estas

decisiones sean cuidadosamente analizadas para proporcionar la mayor oportunidad de éxito (Olivares, González y Ríos, 2010).

Los costos de logística incluyen no sólo los gastos materiales, como el transporte directo y las cargas de distribución, además incluyen costos “invisibles” no contemplados que suceden en el interior de la empresa. Para las empresas 3PL, la logística es su negocio principal, y el análisis de los costos de logística es una medida importante de la gestión logística. La cuantificación del índice de beneficio económico logístico, puede reflejar más claramente los beneficios económicos del 3PL (Liu y Fang, 2009).

Las relaciones de intercambio entre el comprador y el proveedor implican tanto el desarrollo de las actividades subcontratadas, así como la misma selección del proveedor adecuado a realizar estas actividades. En ello se busca la comprensión de cómo los clientes, con necesidades diferentes, localizan el valor en cada componente del servicio al momento de elegir a un proveedor (Anderson et al, 2010).

Así colaboración multi-organizacional está constituida por la interacción del entorno empresarial sobre la base de varios actores. Las áreas de interacción son una forma de manejar la complejidad de la aplicación de una perspectiva multi-organizacional en los procesos de negocio, y la asignación de funciones de negocio como un delimitador de lo que los actores y las acciones a considerar en el análisis, en la figura 2.1 se observa la interacción que puede tener un 3PL al dar un servicio de secuenciado (Haraldson y Lind, 2010). La ruta de abastecimiento es representada por un diagrama de flujo, desde el proveedor del producto hasta su entrega con el cliente, señalando los canales de comunicación y requerimientos que tienen los distintos actores de la cadena de suministro, principalmente orquestado a través de un proveedor 3PL.



**Figura 2.1.** La interacción de las áreas de colaboración logística 3PL (Fuente: Haraldson y Lind, 2010).

Si no se realiza una apropiada selección del proveedor de 3PL, se pueden producir serios problemas, tales como servicios de logística de baja calidad e incumplimiento del contrato. Esto puede conducir a una mala reputación y una imagen de desconfianza hacia el proveedor. Por lo tanto, la selección adecuada del 3PL es un factor importante que determina la eficacia de la logística.

En este punto, los servicios más externalizados en el 2008 fueron el transporte nacional e internacional, seguido de almacenaje, liberación y trámites aduanales, así como la expedición de material (Soh S., 2009). La mayoría de las empresas, han citado como las ventajas principales, al contratar a proveedores 3PL, obtener una mayor flexibilidad y eficiencia operativa a si

como mejores niveles de servicio al cliente y rendimiento de la cadena de suministro, para obtener un mejor enfoque hacia sus negocios (Soh S., 2009).

## **2.2 Inventarios con Revisión Periódica y niveles s, S.**

El procesamiento del pedido está representado por el número de actividades incluidas en el ciclo del pedido del cliente. Específicamente, incluyen la preparación, la transmisión, la entrada, el surtido y el informe sobre el estado del pedido. El 3PL es responsable de actividades que garanticen que los artículos adquiridos sean entregados a tiempo de acuerdo a las instrucciones de la empresa (Crainic et al, 2009).

Un sistema de inventario es la serie de políticas y controles que monitorean los niveles de inventario y determinan los niveles que se deben mantener, el momento en que las existencias se deben reponer y el tamaño que deben tener los pedidos. Un sistema de inventario provee la estructura organizacional y las políticas operativas para mantener y controlar los bienes que se van almacenar. El sistema es responsable de ordenar y recibir los bienes, así como de coordinar la colocación de los pedidos y hacerle seguimiento al mismo (Ballou, 2009).

Normalmente no es necesario un tiempo muy rápido de respuesta del pedido, dado que hay inventarios disponibles para los consumidores finales. Estos inventarios actúan como amortiguador ante los efectos indirectos del reaprovisionamiento del ciclo del pedido. Sin embargo, son importantes los tiempos de reaprovisionamiento del ciclo del pedido que ayudan a mantener una programación fija de reaprovisionamiento. En este sentido y de acuerdo con Khan et. Al. (2010), el objetivo final de cualquier cadena de suministro efectiva es el reducir el inventario (bajo el supuesto de que los productos estén disponibles cuando sea necesario).

Las cadenas de suministro (CS) están sujetas a la dinámica y la incertidumbre de la actividad diaria. Una CS puede estar sujeta a numerosos cambios no



planificados o interrupciones y por lo tanto necesita de adaptación dinámica (Sánchez C. et al, 2008). Estudios recientes indican que la programación debe considerar los aspectos dinámicos del desempeño real y un entorno perturbado de ejecución para llenar el hueco que existe entre la teoría y la práctica. Es aquí donde las tecnologías de la información constituyen una base constructiva para facilitar la retroalimentación entre la programación, ejecución y control de la SC (Ivanov y Sokolov, 2010).

El inventario puede crearse como protección contra la variabilidad en la demanda de existencias y en el tiempo total de reaprovisionamiento. Esta medida extra de inventario, o inventarios de seguridad, es adicional a los inventarios regulares que se necesitan para satisfacer la demanda promedio y las condiciones del tiempo total promedio. Las políticas de inventario especifican las reglas de decisión con respecto al momento en que la reposición del inventario se debe iniciar, así como a la cantidad de reposición que deben ser solicitados a suministrar en la red de suministro. Los inventarios y las políticas de la orden están relacionados entre sí, ya que la cantidad y el tiempo de ordenar dependen del nivel de inventario (Bhattacharya y Bandyopadhyay, 2010).

La cantidad mantenida de inventario de seguridad depende del grado de variabilidad involucrada y del nivel de disponibilidad de inventarios que se suministre. Si el tiempo total y la demanda pudieran predecirse con 100% de precisión, no serían necesarios los inventarios de seguridad.

Para los sistemas de inventario multi-período, las mejores políticas tienen estructuras bastante complicadas y por lo tanto son difíciles de identificar y aplicar a la práctica. Es donde podemos encontrar la política heurística que tiene una estructura simple,  $(s, t, S)$ , donde  $S - s = Q$ . La política  $(s, t, S)$  sigue la siguiente suposición: si la posición del inventario inicial de  $x$  no es más que  $s$ , entonces la orden se convierte en  $s + Q$ , si el inventario inicial está por encima

de  $s$  pero no más de  $t$ , entonces se envía una orden cantidad  $Q$ , si el inventario inicial superior a  $t$ , pero no más de  $S$ , la cantidad de la orden a  $(x) < Q$  ( $x$  es la posición del inventario inicial) se puede tomar la decisión de enviar o no enviar material, en cambio, si el inventario inicial está por encima de  $S$ , no se realiza un envío de la orden (Zhou, Katehakis y Zhao, 2008).

En el reabastecimiento instantáneo, cuando la demanda es continua y la tasa es esencialmente constante, el control de los niveles de inventario se realiza especificando la cantidad que se usará para reaprovisionar el inventario según una base periódica, y la frecuencia de reaprovisionamiento del inventario.

El control avanzado de inventarios por demanda supone el reconocimiento de que la demanda y el tiempo de entrega no se pueden conocer con seguridad. Por lo tanto, debe planearse para una situación en la que no haya suficientes existencias disponibles para surtir las solicitudes de los clientes. Dos métodos de control de inventarios que forman la base para la mayor parte de las filosofías de manejo de tipo demanda (sistema de jalar) con patrones de demanda perpetua son:

- i) El método del punto de re orden, y
- ii) El método de revisión periódica.

De hecho los sistemas prácticos de control pueden basarse en cualquiera de estos métodos o en una combinación de ellos.

El sistema de inventario con periodos fijos de revisión considera un nivel mínimo de inventario permitido  $s$ , donde la cantidad de la orden puede ser un valor fijo  $q$  o puede ser determinado como la diferencia entre un valor de  $S$  y la posición del inventario. De la combinación de estos parámetros de decisión, podemos derivar tres políticas de inventario periódico de revisión (Ver Tabla 2.1), donde  $t$  denota la frecuencia de las revisiones (Wensing, 2009).

No.	Impulso <i>r o s</i>	Cantidad <i>q o S</i>	Politica
1	<i>r</i>	<i>q</i>	<i>(r,q)</i>
2	<i>s</i>	<i>q</i>	<i>(t,s,q)</i>
3	<i>r</i>	<i>S</i>	<i>(r,S)</i>
4	<i>s</i>	<i>S</i>	<i>(t,s,S)</i>

**Tabla 2.1.** Política de inventarios de revisión periódica. (Fuente: Wensing, 2009)

Al igual que en los sistemas tradicionales de almacenamiento, donde se supone que la demanda en cada período, es representado por una variable aleatoria independiente e idénticamente distribuida. El estado del sistema se revisa cada  $T$  períodos, y si la posición del inventario (el inventario neto después de considerar el inventario en tránsito y en mano) cae por debajo de  $s$ , se hace un pedido, con plazo de entrega de  $L$  (lead time), para llevar la posición del inventario hasta  $S$ . La orden es enviada cuando desciende a un nivel de riesgo permitido para elevar la posición en el inventario. Se considera que el suministro de material se obtiene de forma infinita (Xu, Bisi y Dada, 2010).

El tener un control permite mantener a la empresa o sistema en buen camino. El controlar el inventario es sumamente importante, ya que ahorra tiempo al evitar errores y le brinda seguridad a la empresa con respecto a la localización y estatus de sus bienes.

### **2.3 Participación del 3PL en la Industria Automotriz.**

La utilización de proveedores 3PL se ha convertido en una práctica ampliamente aceptada en muchas industrias, (Soh, 2010). En el 2010, las empresas dedicadas al 3PL han extendido su participación en diferentes servicios (ver Tabla 2.2). Cada día, los 3PL personalizan mas el servicio logístico de acuerdo a las condiciones que el cliente solicite.

Servicios Logísticos de Outsourcing	Porcentaje de Usuario				
	Todas las regiones	Norte America	Europa	Asia	América Latina
Transportación Doméstica	83%	75%	94%	89%	80%
Transportación Internacional	75	62	89	86	74
Warehousing	74	73	82	77	63
Servicios Aduaneros	58	57	54	68	65
Reenvíos	53	47	54	740	48
Cross-Docking	38	33	47	42	34
Etiquetación del Producto, Empaque, Ensamble	36	32	41	41	34
Logística Inversa (Defectos, Reparación, Retornos)	35	27	47	46	25
Planeación de Transportación y Administración	31	32	32	30	26
Auditoría de pago de Facturas y Pago	28	40	22	23	15
Servicios de Información Tecnológica	20	20	15	19	25
Proveer servicios de consultoría en la Cadena de Suministro	18	20	11	25	17
Entrada de Ordenes, Procesamiento y Retroalimentación	16	17	11	21	14
Manejo de Fletes	15	15	17	14	20
Servicio al Cliente	13	9	10	21	15
Servicios LLP/4PL	13	9	13	16	19

**Tabla 2.2.** Los servicios de logística que las empresas buscan subcontratar (Fuente: John Langley, 2010)

Según Karagul y Albayrakoglu (2007) el mejor medio para reducir la carga de trabajo y mejorar la gestión de la logística de los productos, es el subcontratar un servicio logístico a un proveedor 3PL, el cual aumenta la calidad y reduce el tiempo del servicio en las entregas de los productos.

De acuerdo con Liu y Fang (2009) las empresas que contratan los servicios de un 3PL dan una distinta importancia a los servicios que pueden ofrecer. De acuerdo a una entrevista realizada a 64 empresas de producción con operaciones proveedor externo en logística, un 84.4 % enfatizaban la demanda en la seguridad la cual incluye la seguridad durante el transporte, seguridad en el almacenamiento y seguridad de la información, un 78 % requería tener buenos tiempos en las entregas de los productos, un 76.6 % resaltaba la veracidad en las ordenes y la certeza de la información, un 59.7 % la importancia de poder realizar logística internacional, y en un 59.4 % a la habilidad de comunicación la cual incluye la comunicación del negocio con el cliente y su habilidad de procesar las quejas de los mismos.

Del mismo modo, los países a nivel mundial han identificado a la logística como un referente de estrategia competitiva, la cual involucra tanto a costos, como a la eficiencia en la operación dentro del ciclo de vida del producto (Arvis et al., 2008). A través del índice de desempeño logístico (Logistics Performance Index, LPI) realizado por el Banco Mundial, se muestra el grado de competencia de los países con las mejores prácticas logísticas (ver Tabla 2.3). Los países que encabezan el ranking LPI son normalmente líderes en la gestión logística industria mientras que los de niveles más bajos, mantienen prácticas con exceso de regulaciones, servicios de mala calidad y falta de inversión en infraestructura para el transporte.

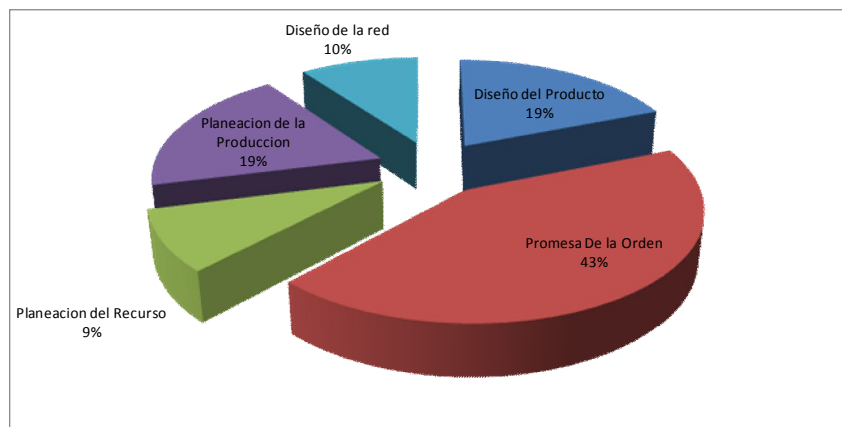
Economía	Posición LPI y puntuación 2010		
	2010 LPI		
	Posición	Puntuación	% del más alto desempeño
Alemania	1	4.11	100
Singapore	2	4.09	99.2
Suecia	3	4.08	98.8
Holanda	4	4.07	98.5
Luxemburgo	5	3.98	95.7
Suiza	6	3.97	95.5
Japon	7	3.97	95.2
Inglaterra	8	3.95	94.9
Belgica	9	3.94	94.5
Noruega	10	3.93	94.2
Irlanda	11	3.89	92.9
Finlandia	12	3.89	92.6
Hong Kong	13	3.88	92.4
Canada	14	3.87	92.3
Estados Unidos	15	3.86	91.7
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
Chipre	46	3.13	68.4
India	47	3.12	67.9
Argentina	48	3.1	67.4
Chile	49	3.09	67.3
Mexico	50	3.05	65.7

**Tabla 2.3.** Índice de desempeño logístico 2010. (Fuente: Banco Mundial).

## 2.4 Participación del secuenciado en la Industria Automotriz.

El proceso de secuenciado surge como un medio para la reducción de los tiempos de entrega y los niveles de inventario en la industria automotriz, generalmente donde existe una complejidad de manufactura del producto generalmente atribuido al grado de personalización del cliente.

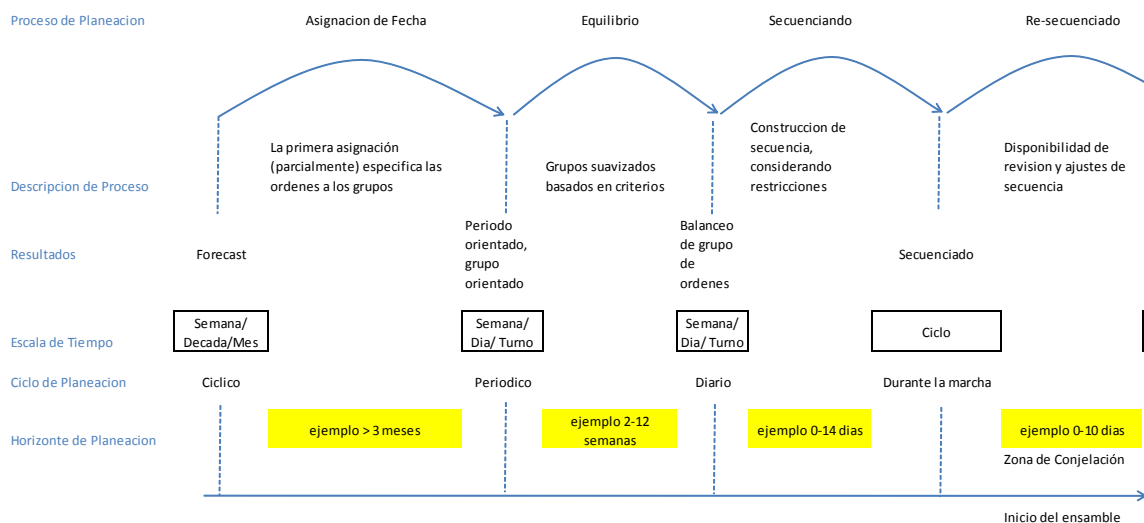
De acuerdo a una revisión de la literatura se identifican 5 tipos principales de decisión, para la planificación de actividades dentro de la cadena de suministro en fechas de entrega y diseño del producto (Ver Figura 2.2), las cuales son: i) la promesa de la orden (la cual es la que ha recibido la mayor atención en la literatura), ii) la planeación de la producción, iii) diseño del producto, iv) diseño de red y v) planeación del recurso (Mansouri, Gallear y Askariadz, 2010).



**Figura 2.2.** Porcentaje de artículos que abordan 5 diferentes áreas de decisión. (Fuente: Mansouri, Gallear y Askariadz, 2010).

La planeación de la producción a su vez se compone de 5 pasos, los cuales son: i) configuración inicial de la línea, ii) programación maestra, iii) planificación de la reconfiguración, iv) secuenciado y v) re-secuenciado (Boysen, Fliender y Scholl, 2007).

El proceso de planeación de trabajo inicia con el establecimiento de fechas para las primeras órdenes, con lo cual establecer los criterios o características en los pedidos y realizar el proceso de secuenciado de los componentes requeridos durante el ensamble, contando con la posibilidad de realizar re-secuenciados en caso de existir una modificación o cambio poco antes del proceso de ensamblado. Entiéndase como secuenciado al proceso derivado de la planeación del material cuyo objetivo es distribuir la demanda de cada material lo más uniformemente posible (Dangelmaier et. al, 2010). El flujo de planeación del material se puede observar en la figura 2.3.



**Figura 2.3.** Procesos de planeación de la secuencia en líneas de ensamble. (Fuente: Dangelmaier et. al, 2010)

La secuencia de productos para su ensamble en línea final impacta a los niveles de inventarios en partes instaladas directamente en punto de uso. Recientemente, los problemas para determinar una apropiada secuencia de productos ha sido el principal interés por parte de los investigadores (Bahadur, Nath y Raj, 2011).

Según la AMR (Investigación Avanzada de Mercado), los fabricantes automotrices están aumentando el requisito de realizar el proceso de secuenciado (Tharing y Andén, 2007). Según menciona Wagner y Silveira (2010) un promedio de 40% de los componentes del vehículo son secuenciados en línea. Por lo que para cumplir con este requerimiento los proveedores necesitan aumentar las inversiones dedicadas a: i) secuenciado, ii) manufactura esbelta, y iii) trazabilidad del producto. Dependiendo del fabricante, el requisito del secuenciado se conoce también como: i) secuencia del vehículo en línea (ILVS), ii) secuencia de entrega de piezas (SPD) y iii) justo en secuencia (JIS) (Fuente: Automotive Sequencing, 2010).

Dado que los defectos de calidad por acabado de pintura son causa de re-trabajo con una tasa de alrededor del 85%, por lo que la secuencia resultaría ser dinámica y nuevas secuencias serían inevitables (Golle, Boysen y Rothlauf , 2009).



## 2.5 Conclusiones

En este capítulo se maneja el concepto de red en la gestión de suministros, teniendo la intención de adoptar una estrategia cooperativa entre los actores de la cadena de suministro. Los proveedores son consolidados a través de un proveedor 3PL como intermediario para la línea del fabricante, teniendo como principal justificación su beneficio económico logístico. Donde la función del 3PL implica no solo el transporte intermodal sino también el manejo en los canales de comunicación y coordinación de los suministros de los actores de la cadena.

Así el proceso de secuenciado surge como medio para la reducción de los tiempos de entrega y los niveles de inventario donde existe una complejidad en la diversidad de las opciones. Derivado del proceso de planeación del material, el secuenciado es un proceso de control para la reducción de los inventarios en estaciones de trabajo y los costos de manejo.

El caso de estudio presenta un sistema de control de inventario de revisión periódica, donde el inventario de seguridad es mantenido para proteger el sistema de el riesgo de desabasto durante el tiempo de respuesta para el remplazo de piezas. El manejo de los inventarios de seguridad se vuelve significativamente importante para el desempeño del sistema de inventarios.

El control de inventarios involucra la realización de dos importantes decisiones: cuando y cuanto ordenar. Mario Vélez y Carlos Castro (2002) mencionan que los inventarios en los cuales la demanda es determinista y constante en el tiempo y cuyo inventario es revisado en unidades de tiempo con un nivel máximo deseado de inventario se considera como un inventario  $(R, S)$  con revisión periódica, el tiempo de respuesta es el número de unidades de tiempo que transcurren entre el momento en que se hace la orden y el momento en que la cantidad ordenada ingresa en el inventario.

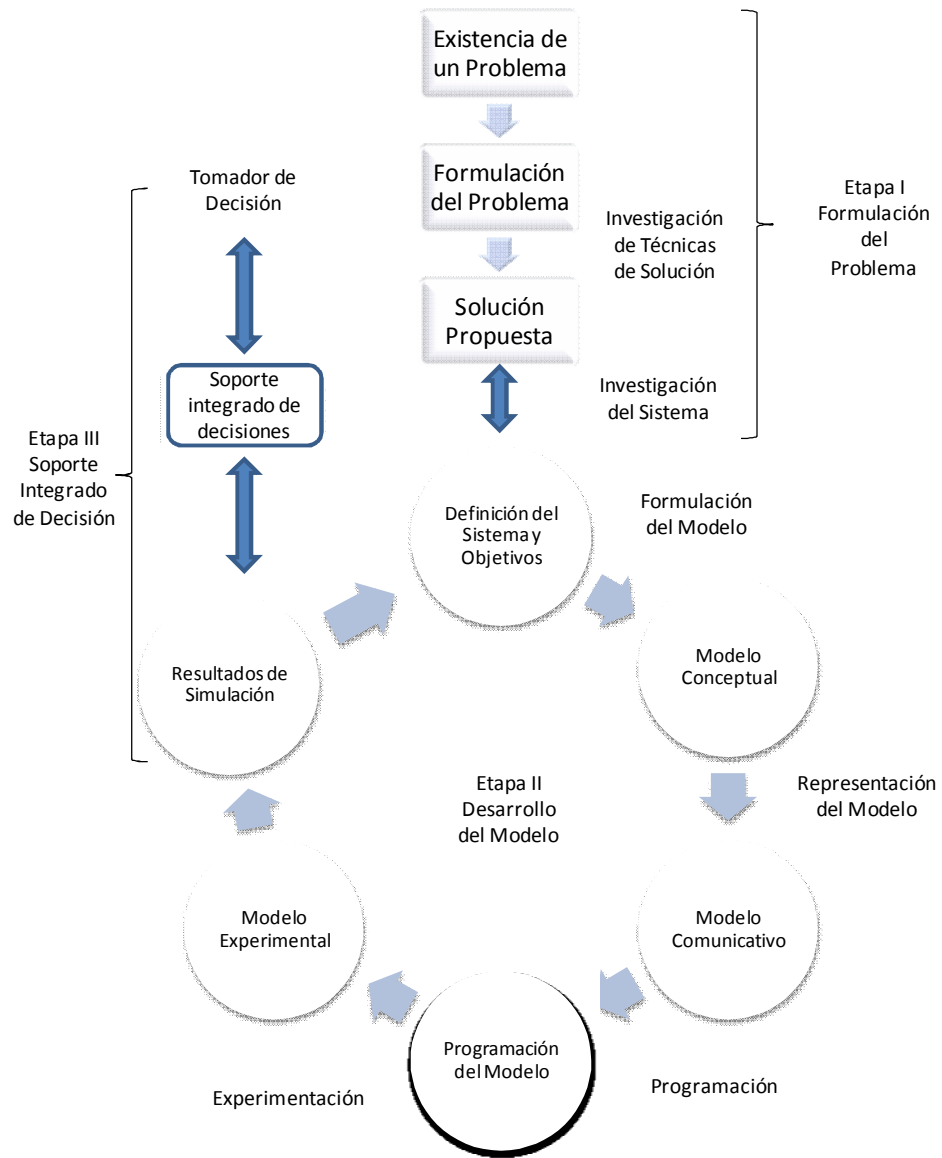
## **Capitulo 3.**

### **Enfoque de Investigación y Metodología.**

### **3.1 Introducción.**

La presente investigación tuvo como marco de referencia genera, un enfoque abductivo constituido de cinco pasos. El primero fue la delimitación preliminar del objeto de estudio a través del análisis de los resultados obtenidos por investigaciones previas en la materia. El segundo paso fue la observación de la problemática en campo definiendo las variables clave y su comportamiento general. El tercer paso involucró el análisis iterativo entre la teoría y la observación en campo para establecer pertinentemente el objeto de estudio. El cuarto paso estuvo constituido por la propuesta teórica y práctica que permitiera comprender y resolver la problemática abordada. En este paso se obtuvieron resultados y conclusiones. En el quinto paso, los resultados y conclusiones obtenidos fueron verificados y aplicados al contexto real, permitiendo su validación.

Así mismo, se presenta una metodología seccionada en tres etapas, las cuales son derivadas del modelo de Ciclo de Vida Balci-Nance para un Proyecto de Simulación. La primera etapa consistió en la formulación del problema, la segunda etapa consistió en el desarrollo del modelo de investigación, y la tercera etapa consistió en el soporte integrado de decisión. La figura 3.1 muestra una identificación completa de las actividades, a partir del reconocimiento del problema, desarrollo y prueba del modelo y concluyendo con el uso de los resultados, para el soporte de la decisión (Nance y Arthur, 2006). La investigación realizada utiliza estas tres etapas como la base del proyecto de investigación. A continuación se hace una breve descripción de cada una de estas tres etapas.



**Figura 3.1.** El modelo de Ciclo de Vida Balci-Nance para un Proyecto de Simulación. (Fuente: Nance y Arthur, 2006).

### **3.2 Formulación del Problema.**

En 1938 Einstein e Infeld mencionan que “la formulación de un problema es a menudo más importante que su solución, que puede ser simplemente una cuestión de habilidad matemática o experimental. Para plantear nuevas preguntas, nuevas posibilidades a viejos problemas desde un nuevo ángulo, se requiere imaginación creativa y marcas de un avance real en la ciencia”.

Un proceso de investigación es la aplicación del método científico a la compleja tarea de descubrir las respuestas (soluciones) a las preguntas (problemas). Los métodos son mas generalmente utilizados para establ ecer una base de investigación y contribuir al aumento de la base de conocimientos mediante la investigación científica, los cuales puede también incluir un proceso de investigación (Offermann et al, 2009).

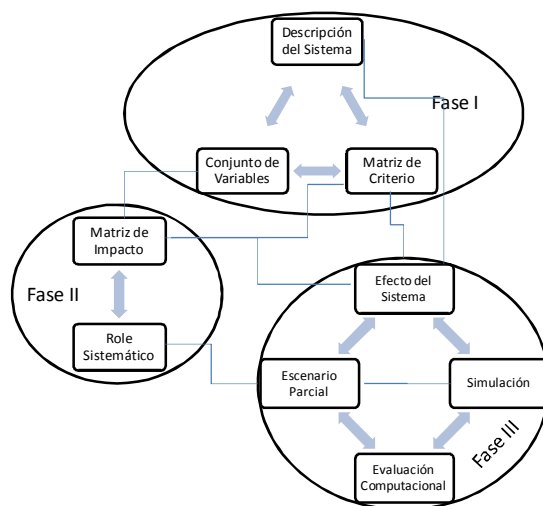
El camino para lograr una buena formulación de un problema es a través de las etapas del proceso de investigación. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2010), existen ocho pasos en el proceso de investigación: i) planeamiento del problema; ii) elaboración del marco teórico; iii) definición del alcance de la investigación; iv) formulación de hipótesis; v) selección del diseño de investigación; vi) selección de las unidades de estudio; vii) recolección de información secundaria; viii) análisis de la información. Para el presente proyecto, la formulación del problema ya se ha comentado en el capítulo I, como base inicial del proyecto de investigación.

### **3.3 Desarrollo del Modelo.**

El desarrollo de un modelo puede estar comprendido por distintas fases en las que podemos encontrar: i) la formulación del problema, ii) la construcción de un modelo matemático para representar el sistema bajo estudio, iii) la derivación de una solución para el modelo, iv) la comprobación del modelo y derivación de la solución, v) el establecer controles sobre la solución, vi) y poner la solución a trabajar (implementación).

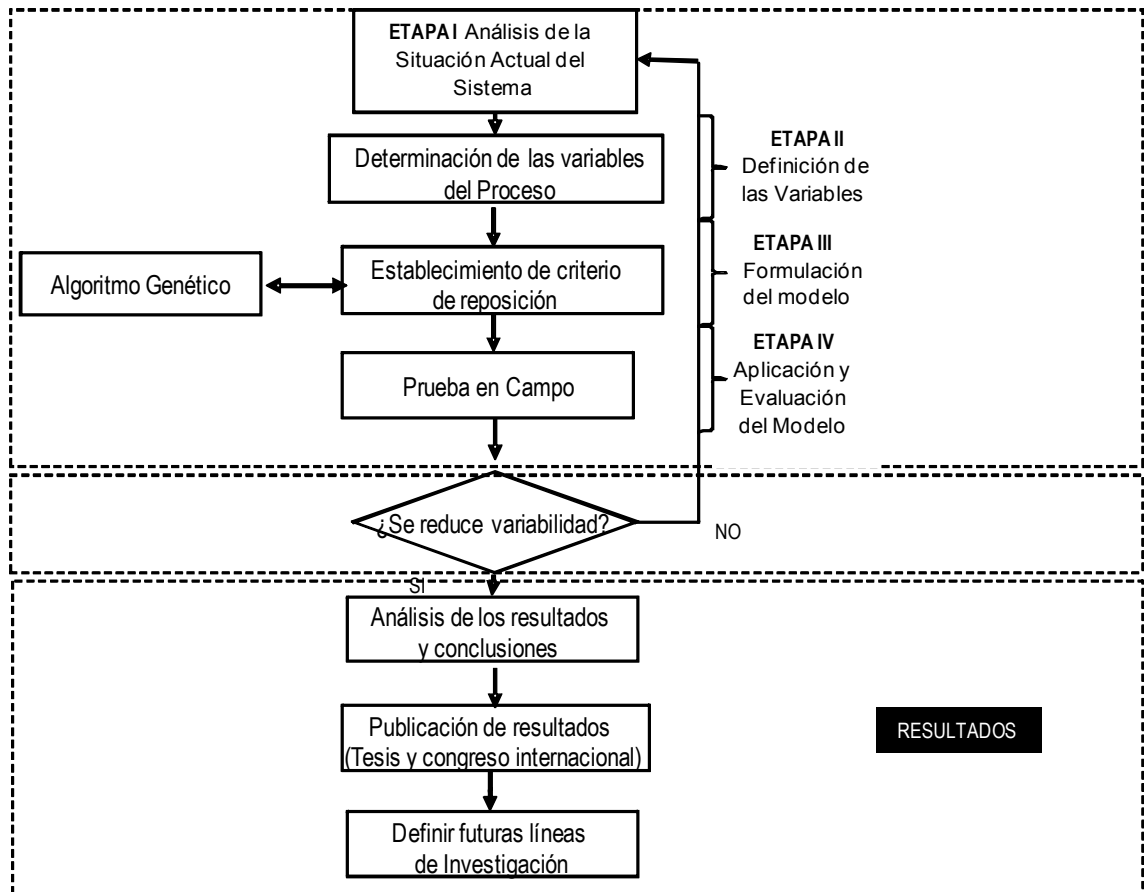
Un modelo es una abstracción, un marco mental para el análisis de un sistema. Se trata de representaciones simplificadas de los fenómenos del mundo real. El desarrollo del modelo se considera un método de investigación eficaz. Ayuda a los investigadores y científicos a obtener una mejor exactitud de la realidad, y también ayuda a describir, predecir, probar o entender los eventos o sistemas complejos. De hecho los modelos a menudo proporcionan un marco para la realización de investigaciones y pueden consistir en objetos reales o formas abstractas, tales como dibujos, fórmulas matemáticas o diagramas (Shafique y Mahmood, 2010).

El esquema de Huang (2009, Ver Figura 3.2) muestra 3 fases de cómo puede ser desarrollo un modelo, con lo que podemos derivar 4 etapas aplicables para la presente investigación: 1) análisis de la situación actual del sistema, 2) definición de las variables, 3) formulación de un modelo, 4) aplicación y evaluación del modelo.



**Figura 3.2.** Representación del modelo de sensibilidad (Fuente: Huang, 2009).

En la figura 3.3 muestra el desarrollo del modelo de investigación utilizado para realizar esta investigación a través de 4 etapas.



**Figura 3.3.** Diagrama propuesto de actividades para el desarrollo del modelo de investigación. (Fuente: Elaboración propia)

En las siguientes secciones se hace una breve descripción de cada una de estas etapas para el desarrollo del modelo.

### **3.3.1 Análisis de la Situación Actual del Sistema.**

La empresa de interés, controla los niveles de inventarios a través de la revisión periódica para 74 familias de autopartes, las que a su vez se dividen por descripciones. De manera secuenciada para estaciones de trabajo en una línea de producción para modelos mixtos.

El control de producción es programado con base mensual, donde la producción diaria es cumplida de acuerdo al objetivo. La velocidad de la línea de producción es constante informando los ajustes con un mes de anticipación. Durante el turno de producción, los modelos se van produciendo en secuencia, esto con el fin de dar oportunidad a los diferentes proveedores de proporcionar las autopartes de acuerdo a la capacidad de producción convenida por hora.

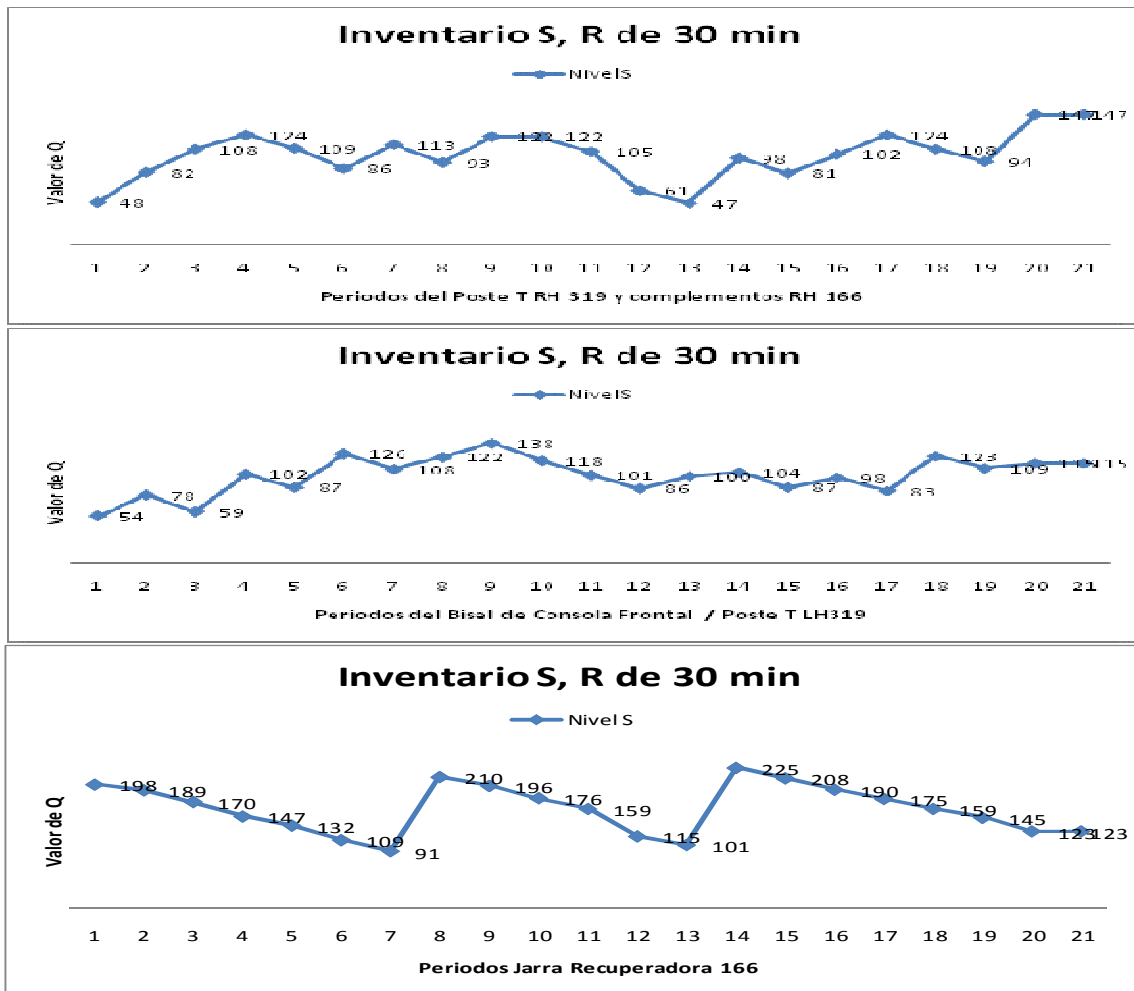
El requerimiento del material para el secuenciado de partes se conoce con pocas horas de anticipación antes de su uso en la estación. Esto puede variar de acuerdo a la posición de la estación dentro de la línea de montaje, y al número de vehículos que existen en el túnel de pintura, el cual es considerado como el buffer de vestiduras.

Cada familia tiene un rack o carro de transporte, acondicionado a las características de la pieza, por lo que se tienen diferentes capacidades de carga. El mayor uso de equipo móvil se centra en camiones de 3.5 de caja cerrada que son utilizados para mover los carros a los docks del cliente que se encuentren más próximos a las estaciones de trabajo. Se utilizan 20 de estas unidades además de 1 caja de 53 ft.

La actividad de envío de carros la realiza una persona que utiliza un formato de niveles de inventarios, el cual fundamenta su decisión de acuerdo a la situación actual del sistema. Que debido a las distintas configuraciones que presentan las familias, los niveles de inventarios se presentan de diferentes formas.

Parte de ese comportamiento lo podemos observar en la Figura 3.4. El cual es una muestra tomada en un periodo para 3 diferentes familias de partes.



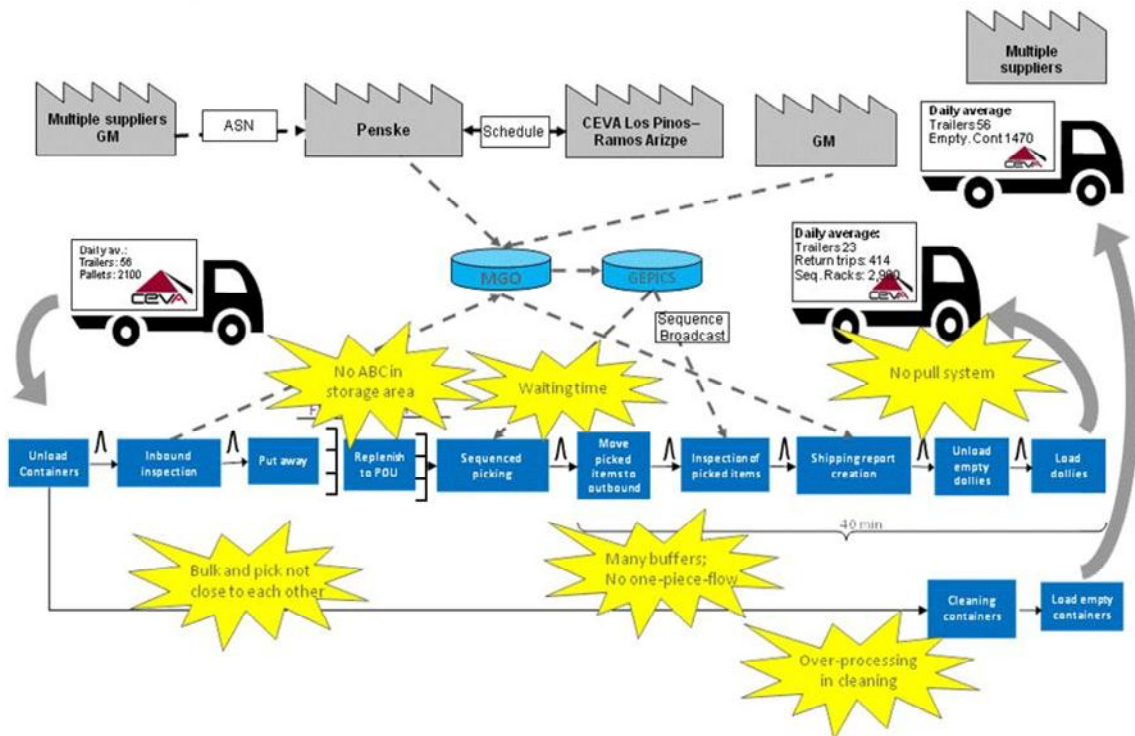


**Figura 3.4.** Comportamiento de familias de partes durante un periodo de revisión. (Elaboración propia).

### 3.3.2 Definición de las Variables.

Al hacer inferencias abductivas del sistema, obtuvimos las variables que participan en los movimientos de los niveles de cobertura, apoyado por un diagrama MIFA (Análisis del Flujo de Materiales e Información) (Figura 3.5).

## MIFA para el Proceso de “Los Pinos”



**Figura 3.5.** Diagrama MIFA para el proceso de secuenciado. (Fuente: Ceva Logistics México, 2010).

Las variables que fueron consideradas para la decisión de envío de piezas secuenciadas al punto de uso son:

- Número de Unidades en el Túnel de Pintura
- Tiempo realizado para embarcar un carro
- Tiempo en tránsito
- Tiempo de colocación dentro de planta
- Piezas en el carro
- Mezcla de consumo del Modelo por hora
- Nivel de cobertura deseado
- Horas estimadas en observación
- Horario de Comida
- Cobertura actual del sistema

- Duración del Periodo de Revisión.
- Vehículos producidos en la Línea por hora
- Estaciones a punto de uso

El modelo se basó en la estandarización de las unidades de medida para homogenizar las variables que participan en la adición del tiempo de traslado. En consecuencia, se optó por convertir los valores de las variables a unidades de cobertura

Para ello se tomó como referencia la velocidad con que la línea de ensamble demanda los componentes. Esto ayudó a conocer el número de unidades lineales (sean de un mismo producto o no) quedando en la línea, antes de llegar a requerir el componente a suministrar. Esto logró bajar la complejidad del efecto que causa la mezcla de unidades en la línea de producción, donde la Figura 3.6, muestra como pueden ser requeridas 4 opciones dentro de la línea de producción teniendo una cobertura de 10 vehículos lineales.

	Línea de Producción									
	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	SI
Cobertura				10						
Piezas			SI	4						

**Figura 3.6.** Representación de la cobertura de un componente de vehículos en la línea. (Fuente: Elaboración propia)

La conversión de las unidades de cobertura equivalente al envío del carro, se realiza a través del siguiente cálculo:

$$= ( * ) / \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

= Es el batch de cobertura signada a un carro de secuenciado.

**X** = No. de piezas en el carro.

= Demanda.

= Mezcla de consumo en línea de producción.

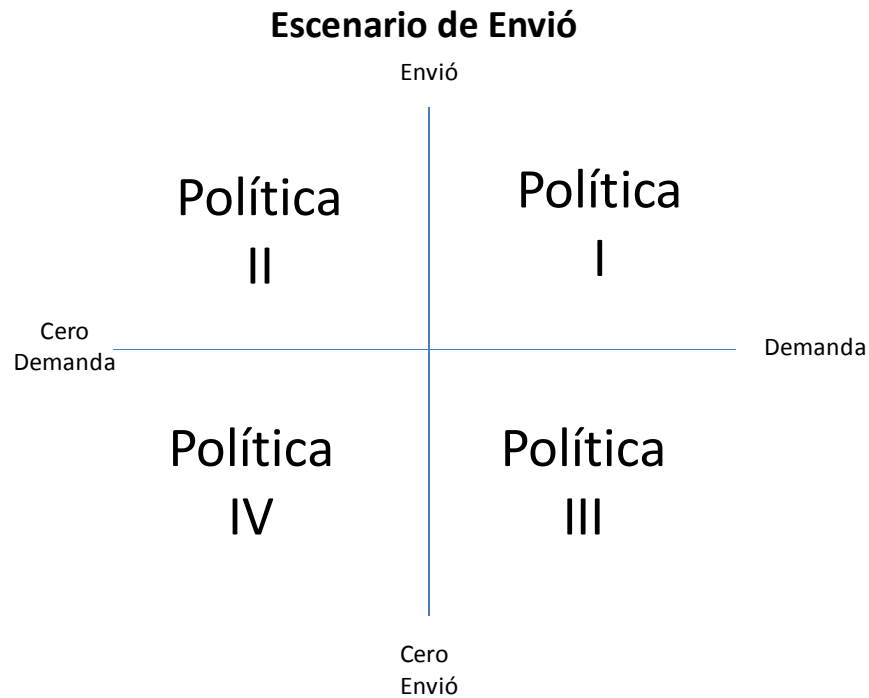
### **3.3.3 Formulación del Modelo.**

El modelo se desarrolló con base en una política de revisión periódica de los niveles de inventarios ( $s$ ,  $S$ ), donde los costos son difíciles de percibir para cada familia debido al alto nivel de rotación de inventarios y al nivel de intensidad en el envío de materiales.

Así, los envíos son manejados bajo una política de “costos fijos” pactados previamente. Debido a los cortos tiempo de tránsito entre el cliente y el almacén, los inventarios en tránsito y en punto de uso son usualmente considerados dentro del sistema de inventarios de un sitio de producción, como “entregados al cliente” (en este caso a la empresa ensambladora). De este modo, una vez que los componentes salen del almacén de la empresa de interés, se contabilizan ya como parte del inventario del ensamblador, aunque físicamente aún no lo sean.

Mediante un enfoque de investigación abductiva, se observó las condiciones de operación del envío de material y las demandas del cliente, de la cual se derivaron políticas para escenarios de decisión. La definición de políticas tomó en cuenta cuatro situaciones de operación derivados del efecto entre la demanda y los envíos de lotes fijos, adicionando, manteniendo o restando el nivel de inventario del periodo de revisión en el momento de verificación.

Así, la primera política estuvo constituida por la adición de unidades al nivel de cobertura y disminución de unidades por el consumo de la demanda de producción. La segunda política estuvo constituida por la adición de unidades al nivel de cobertura y sin efecto del consumo de unidades por demanda de producción. La tercera política estuvo constituida por la no adición de unidades al nivel de cobertura y disminución de unidades por el consumo derivado de la demanda de producción. Finalmente, la cuarta política estuvo constituida por la no adición de unidades al nivel de cobertura y sin efecto del consumo de unidades por demanda de producción (Ver Figura 3.7).



**Figura 3.7.** Representación de Políticas de Operación (Fuente: Elaboración propia).

**Política Uno:** Esta política representa la realización de un envío y un consumo de material (2,3) expresado por:

$$S(j, i) = s(j, i) - 1 + \dots \quad (2)$$

$$s(j, i) = S(j, i) - ( * r) \dots \quad (3)$$

Donde:

**S** = Nivel de Inventario después de la opción de envío.

**s** = Nivel de Inventario antes de la opción de envío.

**j** = j-esima escenario de decisión.

**i** = i-esimo periodo de revisión.

**Política Dos:** La política dos define el proceso donde no se realiza un envío y no existe un consumo de material, lo cual es expresado por:

$$S(j, i) = s(j, i-1) + \dots \quad (4)$$

$$s(j, i) = S(j, i) \dots \quad (5)$$

**Política Tres:** La política tres representa la no realización del envío y el consumo de material, lo cual sucede al término de la jornada laboral y se expresa como sigue:

$$S(j, i) = s(j, i-1) + 0 \dots \quad (6)$$

$$s(j, i) = S(j, i) - ( * ) \dots \quad (7)$$

**Política Cuatro:** La política cuatro representa el no envío de material y su no consumo por parte de la línea de producción, lo cual sucede al término durante los periodos de pausa para comida y cambio de turno, representado por:

$$s(j, i) = S(j, i) \dots \quad (8)$$

El tiempo requerido en el traslado y entrega es considerado como el límite inferior del inventario (9), el cual representa el tiempo mínimo para poder colocar una orden y representa la suma del tiempo requerido de embarque, tiempo de traslado, recepción y colocación de la orden en la estación de trabajo. Esto se expresa como sigue:

$$= + + \dots \quad (9)$$

Donde:

= Límite Inferior Permitido.

= Tiempo en tránsito.

= Tiempo requerido de Embarque.

= Tiempo de colocación del material en Punto de uso.

El límite superior (10) es la cantidad máxima de órdenes que pueden ser recibidas por parte del cliente, y es la suma de las unidades en pintura más el

número de estaciones de trabajo, desde el inicio del proceso de vestiduras hasta el punto de consumo, menos el batch, expresado como sigue:

$$= \frac{L + (U - D) / T}{\dots\dots\dots} \quad (10)$$

Donde:

- = Limite Superior Permitido.
- = Unidades en el Túnel
- = Estaciones a Punto de Uso
- = Demanda de unidades por unidad de tiempo

El tamaño cada escenario o genes (11), se obtiene del tiempo considerado de observación entre el periodo de revisión y se expresa:

$$= \frac{N}{T} \dots\dots\dots \quad (11)$$

Donde:

- = Numero de elementos del Escenario de decisión.
- = Horas de estimación.
- = Periodo de Revisión

De este modo se busca encontrar el mejor escenario de decisión que se mueva entre el nivel de inventario promedio deseado, considerando que solamente puede aumentar con lotes definidos de envíos y demanda continua.

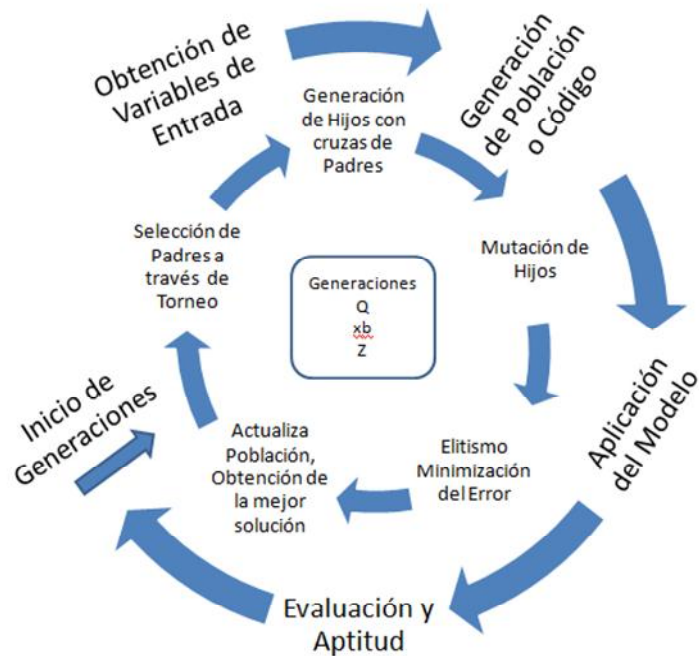
### **3.3.4 Aplicación y Evaluación del Modelo.**

Para dar solución a esta decisión se empleó un Algoritmo Genético con el cual es posible analizar de manera aleatoria distintos escenarios, seleccionado aquellos que minimicen el error entre el promedio deseado. La codificación utilizada es binaria, donde el 1 simboliza la opción de envió y el 0 la opción de no envió.

La ventaja de este tipo de enfoque es debido a que trabaja con poblaciones de individuos los cuales representan una solución factible a un problema dado, de los cuales a cada uno se le asigna un valor o puntuación relacionado con la bondad de dicha solución. Esto equivaldría al grado de efectividad de un organismo a competir por un determinado recurso. Mientras mayor sea el éxito evaluado en el individuo, mayor será la probabilidad de generar un mayor número de descendientes, lo que implica que los individuos mejor adaptados se propagarán en sucesivas generaciones, produciendo una mejor adaptación que cualquiera de sus ancestros (Gunner et, 2008).

Los pasos de algoritmo expuesto se presentan en la Figura 3.8. A continuación se dará una explicación de la aplicación de los pasos para la formulación del Algoritmo Genético.





**Figura 3.8.** Representación de los pasos para la formación del Algoritmo Genético. (Fuente: Elaboración propia).

Los pasos principales del algoritmo genético dentro de su sintaxis son: 1) La creación de la población inicial, que suele ser generada de forma aleatoria de distribución uniforme en todas las soluciones posibles; 2) Un operador de selección que garantice que la búsqueda se enfoque en las soluciones de candidatos con el mejor criterio de valuación seleccionado; 3) La Variación de los operadores modifica la información de las mejores soluciones encontradas hasta el momento de generar nuevas soluciones con un mejor criterio de valuación; 4) Por último, el operador de sustitución proporciona un método para actualizar la población original de las soluciones, utilizando las nuevas soluciones creadas por la selección y la variación. La población se actualiza para un número de iteraciones con los operadores de la selección, la variación, y el reemplazo (Pelikan, 2010). El desarrollo del Algoritmo se constituyó de 8 pasos.

En el **Primer paso** se obtuvieron e insertaron las variables de inicio para generar aleatoriamente una población de escenarios. Se consideró que la población estuviera representada por medio de una codificación binaria de 0,1. En donde el 0 representa la decisión de no envió de material hacia el almacén del proveedor y el 1 el envió al almacén del proveedor, siendo así una representación discreta. El tamaño del gen estuvo en proporción número de periodos de revisión que se encuentren contenidos en las horas de predicción que se quiera estimar.

Cada serie binaria, fue llamada escenario de decisión, donde el tamaño de la población fue tomado de los datos de entrada, considerando que la asignación binaria fue tomada al azar, al colocar una regla que asignó el valor binario a los números que van desde el 0 al 1.

En el **Segundo paso**, los códigos fueron interpretados bajo una relación de demanda y suministro, sumando y restando según indicaba la codificación para la obtención de los niveles de inventarios ( $s$ ,  $S$ ). Una vez que se obtuvieron los niveles con base en la propuesta de Benkherouf y Sethi (2010),

Tomando como referencia a la población creada, se dispuso realizar una representación numérica de la codificación binaria, tomando como base las 4 políticas planteadas en el desarrollo del modelo. Tomando como punto de partida el nivel de inventario que el sistema presenta durante la revisión periódica. Por lo que se obtuvieron así los niveles  $s$ ,  $S$  para cada periodo de revisión que se buscaba pronosticar. La serie secuenciada de los niveles  $s$ ,  $S$  fue llamada  $Q$ , y fueron números reales representando el nivel de inventario para el escenario de decisión.

En el **Tercer paso** Los niveles en  $Q$  fueron mapeados con respecto al nivel de cobertura deseado para cada escenario de decisión. Tomando como referencia

la teoría de mínimos cuadrados, se realizó una representación de datos de entrada a  $Q$  y como la línea de predicción al nivel de cobertura deseado, obteniendo así la función objetivo como la minimización del error de predicción entre los valores de  $Q$  y el nivel de cobertura deseado (ecuación 12).

$$\text{Min } Z = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n - 2} \dots \dots \dots (12)$$

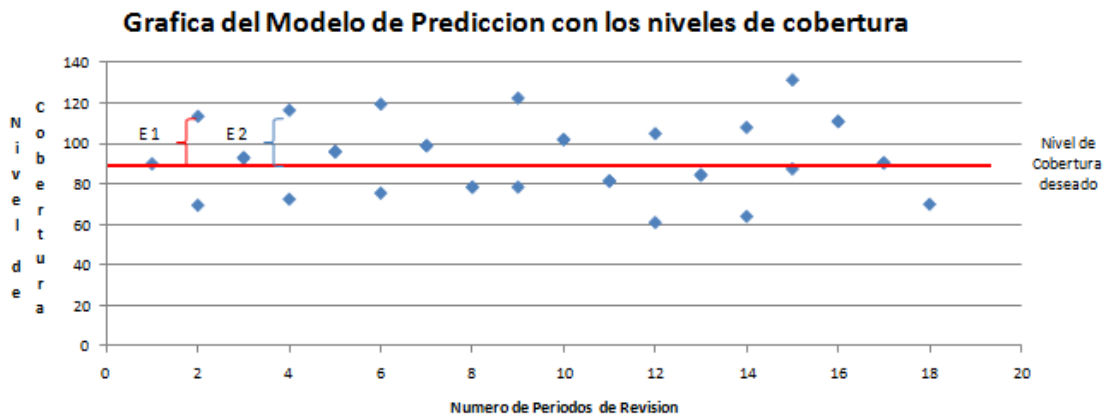
Donde:

$Q_i$  = Nivel de Inventario obtenido en la Codificación.

$\bar{Q}$  = Nivel de Inventario promedio deseado.

$n$  = Suma de elementos de inventarios  $S$  y  $s$ .

Como resultado, se obtuvo el escenario que menor error de estimación tenía con respecto al promedio de cobertura deseado (Ver Figura 3.9).



**Figura 3.9.** Errores de  $Q_i$  contra nivel deseado. (Fuente: Elaboración Propia).

Para el **Cuarto paso** se realizó una selección de padres a través de un torneo considerando la aptitud obtenida y donde los resultados obtenidos fueron transformados de binarios a código gray para obtener una mejor combinación.

La aptitud fue utilizada para suavizar la penalización a aquellos valores de Z que se encuentren muy altos. A través de la siguiente fórmula 13, obtenemos la aptitud para cada valor de la población.

$$\text{Aptitud}_i = 2 \frac{(Z_i - Z_{\min})}{Z_{\max} - Z_{\min}} + 1 \quad \dots \dots \dots (13)$$

En el **Quinto paso** se procedió a la obtención de hijos a través de la cruce de padres que son seleccionados al azar, una vez realizada la cruce se vuelve a obtener el código binario de la transformación del código gray. La cruce utilizada es de dos puntos, donde la partición es obtenida al azar, y considerando una probabilidad de cruce, la cual nos sirve como regla para realizar la cruce.

En el **Sexto paso** se realizó una operación de mutación de los hijos y un proceso de elitismo. En la mutación se utiliza como regla una probabilidad de cruce donde se altera un gen del cromosoma. El proceso de elitismo consiste en la selección del mejor individuo de acuerdo con el proceso de valuación definido. El cual es representado como el mínimo valor de la función objetivo obtenido de la población generada.

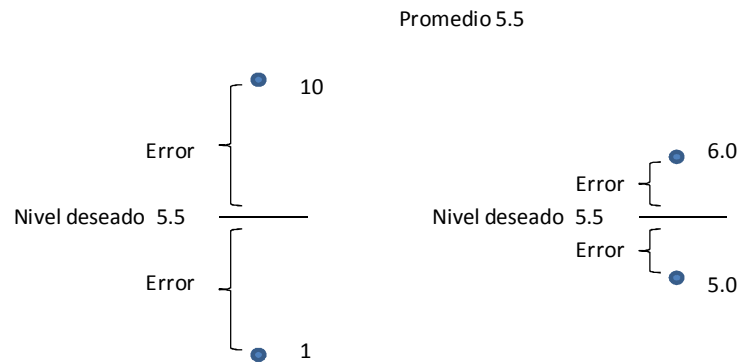
Para el **Séptimo paso**, se vuelve a evaluar y a obtener una aptitud, la cual nos sirvió para no penalizar en mayor grado a los valores altos en el error. Los resultados fueron almacenados, cuando un escenario contenía el mínimo error de predicción para poder compararlo contra una nueva generación. Finalmente, el **Octavo paso** se desarrolló después de la corrida de las generaciones al obtener el escenario con el menor error de predicción con referencia al nivel de cobertura deseado.

### 3.4 Soporte integrado de decisión.

Una vez realizada la corrida del algoritmo, los resultados arrojados buscan contribuir con las decisiones de envío por parte del personal de embarques mediante una propuesta que permite mantener el nivel del inventario durante los periodos de revisión tomando como punto de jerarquización al nivel de cobertura deseado.

Mediante la evaluación de cada uno de los escenarios de decisión contra el nivel de cobertura, se tomó la mejor propuesta y se realizó un proceso de combinación y mutación para las generaciones y así buscar a la mejor propuesta. Una vez terminado el proceso, el algoritmo plasmó en una hoja de cálculo de Microsoft Excel una serie de decisiones (debido a que es el programa más utilizado por parte de la empresa de interés) mediante un código binario, al mejor escenario de decisión y a su vez se muestra en forma grafica para su mejor comprensión.

El nivel de  $Z$  resultante es la minimización del error de predicción de todos los individuos de la generación. El promedio del los niveles  $s$ ,  $S$  es presentado como punto de convergencia del nivel de cobertura deseado por parte de la empresa de estudio. Debido a que el cálculo del promedio puede proporcionar el mismo resultado para dos diferentes operaciones (Ver Figura 3.10), se opto por utilizar el error de la predicción como criterio de validación al proporcionar una mejor adaptación a lo requerido por parte de la empresa de interés, ya que mide la distancia entre un valor y un punto de referencia.



**Figura 3.10.** Promedio similar para dos diferentes operaciones. (Fuente: Elaboración Propia)

También los datos de entrada para las familias de partes fueron introducidos por medio de una hoja de cálculo para su mejor manejo. El algoritmo estuvo programado para calcular los datos inscritos en la hoja de cálculo por lo que la inserción de nuevas familias resulta ser más sencilla. El algoritmo se encuentra programado para evaluar a más de un carro de secuenciado por envió, si esa fuera la opción más conveniente.

### **3.5 Conclusiones.**

Se elaboró un modelo de escenarios de decisión para envíos de lotes fijos en inventarios con revisión periódica bajo un enfoque abductivo, con base en la información obtenida del sistema de secuenciado. Para ello se identificaron patrones de comportamiento en los niveles de cobertura con relación a las situaciones de operación de los actores del sistema.

Con base en una amplia revisión del estado del arte, se desarrolló un modelo a través de un método adaptativo empleando la técnica de Algoritmos Genéticos. Debido a las características que mostro el análisis del sistema de la empresa de interés, y a la personalización del servicio proporcionado en base al requerimiento del cliente, así como a los factores que modifican los niveles de cobertura, se opto por los beneficios que otorgan los Algoritmos Genéticos al resolver problemas de búsqueda y optimización, al adaptarse fácilmente a los cambios en el sistema.

El algoritmo genético resultó ser una herramienta de apoyo durante la toma de decisión en el envío de piezas, al proporcionar un marco de referencia para la visualización del comportamiento de los inventarios durante el proceso de abastecimiento.

## **Capitulo 4.**

### **Experimentación y Análisis de Resultados.**



#### **4.1 Introducción.**

El concepto de convergencia hace referencia a la propiedad que poseen algunas sucesiones numéricas de tender a un límite. Este concepto es bien general y dependiendo de la naturaleza del conjunto donde se encuentre definida la sucesión, puede adoptar varias formas.

Para asegurar la convergencia en los algoritmos genéticos de un área de búsqueda se debe establecer un orden, para ello se debe contar con un número suficiente de grupos de individuos, los cuales deben ser manejados con ajustes de adaptación a través de dinámica de probabilidad, y emplearse el uso de híbridos para el proceso de convergencia evolutiva, (Gu, 2009).

De este modo y de acuerdo con Poojari y Beasley (2009), se ha llegado a una aproximación de solución óptima cuando las distancia de los valores de respuesta buscados se vuelven igual o cercanos a los límites establecidos de búsqueda.

En este capítulo se presenta como a través del algoritmo genético propuesto se llega a la convergencia en los niveles de cobertura de un periodo de tiempo estimado dando un punto de jerarquización en el nivel de cobertura deseado por parte de la compañía de interés. Además se realiza una validación de los datos con una prueba de normalidad e igualdad de varianzas entre los datos reales del sistema contra los datos de predicción proporcionados por el algoritmo genético.

Para elaborar y ejecutar el algoritmo genético se utilizo un software matemático con un lenguaje de programación propio (MATLAB R2008A). Esto fue debido a

su capacidad para manejar algoritmos y su gran variedad de comandos que vuelven más sencilla la ejecución de los sub programas así como la interacción directa con datos de Microsoft Excel.

Para la aplicación y validación del sistema en campo, éste se probó en el proceso de secuenciado que la empresa CEVA Logistics hace para una armadora automotriz (General Motores Ramos Arizpe). La empresa logística suministra las piezas a las estaciones de vestiduras para la Línea 2 del complejo automotriz. Tanto las aplicaciones como la validación en el proceso son presentadas mediante tablas y gráficas.

#### **4.2 Aplicación del Algoritmo Genético en el secuenciado**

CEVA Logistics (antes conocida como TNT Logistics) es una compañía líder mundial en logística y en la gestión de la cadena de suministro. Diseña, implementa y gestiona soluciones complejas de la cadena de suministro a escala nacional, regional y mundial, para empresas multinacionales, o locales de gran tamaño. Proporciona a los clientes soluciones completas de principio a fin que cubren la totalidad de la cadena de suministro. La compañía está especializada en diversos sectores de mercado, incluyendo: i) Automoción; ii) Neumáticos; iii) Electrónica/Alta tecnología; iv) Industrial; v) Gran Consumo; y vi) Editoriales.

CEVA emplea a 54.000 personas y opera en una extensa red con instalaciones en más 100 países del mundo. Gestiona 614 almacenes que suman un espacio total de almacenaje de 8.6 millones de metros cuadrados. En 2006, CEVA facturó 3.500 millones de Euros. CEVA es propiedad de Apollo Management L.P, una de las compañías de inversión de capital privado más destacadas e importantes del mundo.

El 2 de Agosto 2007 CEVA se fusionó con Eagle. La combinación de las dos compañías representa resultados anuales de 6,000 millones de Euros (48% en la unión europea, 32% en el continente americano, y 20% en el continente Asia Pacífico).

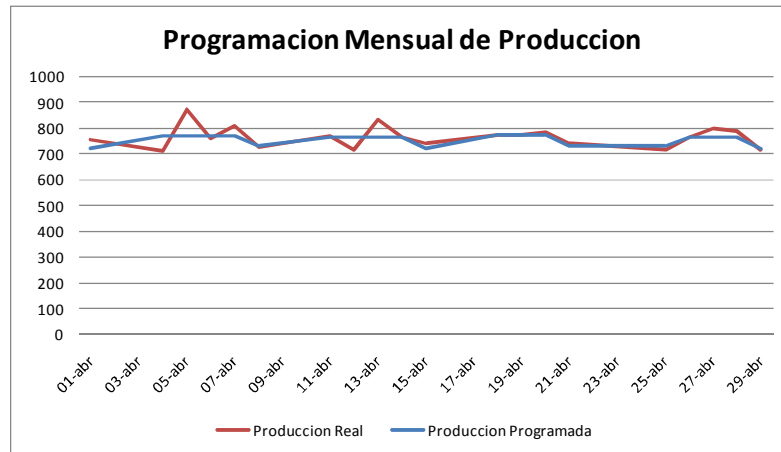
Teniendo presencia en gran parte del territorio mexicano, CEVA da servicio en el Cluster Automotriz de la Región Coahuila Sureste (CARCS) a empresas como General Motors, Freightliner, Chrysler, así como a otras industrias mundialmente (ver Figura 4.1).

	Automotive	Telecom	Hi-Tech	Industrial	Retail & Consumer Goods	Energy	Tires	Publishing	Healthcare
Customers									
Solutions	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Inbound</li> <li>› Manufacturing Replenishment</li> <li>› Production Parts</li> <li>› Built up Vehicle</li> <li>› Outbound distribution</li> <li>› Aftermarket</li> <li>› Spares</li> <li>› CKD's</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Purchase Order Management</li> <li>› Kitting</li> <li>› Warehousing</li> <li>› Installations</li> <li>› Spare Parts</li> <li>› Logistics</li> <li>› Repairs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Vendor Managed Inventory</li> <li>› Supplier Managed Inventory</li> <li>› Kitting</li> <li>› Reverse Logistics</li> <li>› Transport &amp; Distribution</li> <li>› Finished Goods</li> <li>› Return Asset Management</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Inbound flow</li> <li>› Manufacturing support services</li> <li>› Outbound flow (finished goods, spare parts)</li> <li>› Export Consolidation</li> <li>› Direct Ship</li> <li>› Order Fulfillment</li> <li>› PO Management</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Warehousing &amp; inventory management</li> <li>› Outbound distribution</li> <li>› Return management</li> <li>› Home delivery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Export Consolidation</li> <li>› Purchase Order Compliance</li> <li>› Export Packing &amp; Crating</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Inbound Manufacturing Replenishment</li> <li>› Outbound distribution</li> <li>› Aftermarket</li> <li>› Spares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Outbound distribution</li> <li>› Warehouse management</li> <li>› Return processing</li> <li>› Management of back issues</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Outbound distribution</li> <li>› Warehouse management</li> </ul>

**Figura 4.1.** Empresas en que presta servicios logísticos, CEVA Logistics en el mundo. (Fuente: CEVA Logistics, 2010)

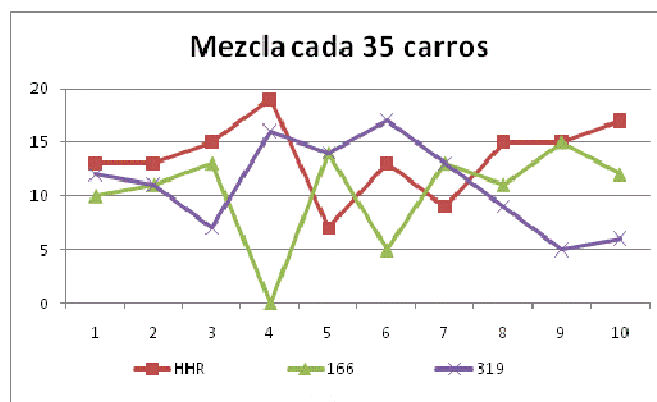
Para obtener las variables de entrada a usar en el algoritmo genético, se tomó en cuenta la situación actual del sistema. La demanda del consumo del material se conoció de acuerdo a un pronóstico mensual, el cual es la diferencia que

existe entre la producción planeada y la producción real (Figura 4.2). Para este caso fue del 1 % mensual.

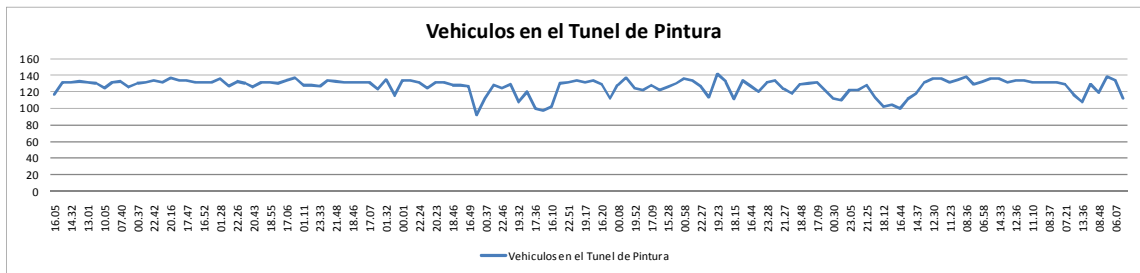


**Figura 4.2.** Producción real contra la programada en una línea de modelos mixtos. (Fuente: CEVA Logistics, 2011).

Donde la opción del pedido se conoce un poco antes de su uso en la estación de trabajo, y las mezclas de los modelos se comportan de acuerdo a las necesidades de los departamentos del cliente (ver Figura 4.3). Las unidades en el túnel de pintura presentan un comportamiento como lo observado en la Figura 4.4, razón por la cual se debe estar realizando una revisión periódica a las unidades en el túnel de pintura y a los niveles del inventario.



**Figura 4.3.** Requerimiento de los modelos en una línea mixta de modelos en un turno de trabajo (Fuente: CEVA Logistics, 2011).



**Figura 4.4.** Número de vehículos en el túnel de pintura durante 2 días de producción. (Fuente: Ceva Logistics, 2011).

Las estaciones de trabajo se encuentran sobre una línea de modelos mixtos, de acuerdo a su orden de instalación. Con lo cual obtenemos el tiempo de reacción para el abastecimiento y con ello la cantidad de órdenes pedidas en el sistema. La información es tomada de acuerdo a las estaciones de trabajo que existen entre el punto de uso y el inicio de vestiduras. Los datos de las familias se pueden observar en la Tabla 4.1. El transporte para los carros puede variar entre familias por contar con descripciones físicas diferentes, por lo que su impacto en el abastecimiento del inventario suele ser distinto.

Commodity	Estaciones entre salida y punto de uso		Estaciones entre salida y punto de uso
Cubierta de Tablero 166 (kit)	-45	Rodapie frontal RH (rodapie) HHR	60
Ames 5 puerta N/P 1582	-42	Cubierta de columna 319	61
Consola y Ames de Toldo 166	-37	Rodapie Delantera LH (rodapie) HHR	63
Ames Motor HHR & 319	-15	Rodapie Trasera LH (pata de perro) HHR	64
Ames de porton 166	-12	End Cap RH (lagrimas) HHR	64
Modulo de Aire A/C 166	-11	Rodapie Trasero RH - Compartimiento Trasero 319	64
Ames de Tablero HHR & 319	-10	Rodapie trasero RH (pata de perro) HHR	67
Modulo de Aire Acondicionado 319	-6	Consola Trasera 319 y Rodapie Trasero LH-319	68
Amortiguador Delantero (STRUT) LH/RH	-4	Compartimiento Trasero (HHR)	70
Ames Principal HHR & 319	0	Consola HHR	70
Hule de Marco puerta (RH, LH, Front, Tras)	2	Caja de herramienta	75
Antiruido Interior ( CORAZA ) HHR/319/166	5	Moldura caja de herramienta RH/LH	75
Ameses de Lámpara frontal 319/166	8	Rodapie Delantero RH 319	76
Cubierta de columna HHR	8	Rodapie Delantero LH 319	76
Toldo 319	18	Eje Trasero 319	84
Ameses de Lámpara frontal HHR	23	Elevadores RH (HHR y 319)	84
Porton Trasero 319, Brazos, Güiro	27	Eje Trasero HHR	88
End Cap LH (lagrimas) HHR	29	Espejos y Carcaza RH 166	94
Pilar B Superior LH/RH 319	29	Elevadores LH (HHR y 319)	98
Lagrimas 166	30	Antiruido Frontal	100
Cubierta de Columna 166	31	Kit Hules Front LH	101
ALFOMBRAS HHR y 319	33	Kit Hules Front RH	101
Pilar A RH/LH HHR/319/166	34	Ames Velocidad RH	102
Ames de Puertas RH HHR & 319	35	Ames Velocidad LH	102
5a Puerta 166	37	Tanque de Gasolina 319	104
Ames de Puertas LH HHR & 319	44	Espejos y Carcaza LH 166	105
Cuarto Panel Inferior LH (HHR)	49	Kit Hules Tras LH	106
Cuarto Panel Inferior RH (HHR)	49	Kit Hules Tras RH	106
Cuarto Panel Superior LH y RH (HHR 319 166)	49	Tanque de Gasolina 166	110
Guantera 319	51	Ames de Velocidad 166/319 RH	112
Sello de compartimiento trasero (poste central) HHR	51	Ames de Velocidad 166/319 LH	112
5a Puerta (porton de guiro) HHR	54	Ames Chasis	113
Pilar B inferior y Zocalo LH (HHR) 166	54	Puertas Del RH/LH 319&HHR	137
Pilar B inferior y Zocalo RH (HHR) 166	54	Puertas Tras RH/LH 319&HHR	141
Cuarto Inferior LH / Bote Basura LH 319 y 166	56	Jarra recuperadora	145
Poste T RH 319 y complementos RH 166	54	Ductos y Filtros de Aire	166
Cuarto Inferior Bote de basura RH 319 y 166	56	Bisel de Consola Trasera 319	169
Bisel de Consola Frontal / Poste T LH319	60	Loderas	170
Consola Frontal 319	60	Tapa y portaequipaje (fregadero) HHR	195

**Tabla 4.1.** Estaciones de trabajo entre la salida de pintura y el punto de uso de la familia. (Fuente: CEVA Logistics, 2011).

Una vez obtenidos los datos de entrada se procedió a realizar la corrida del algoritmo genético introduciendo los valores en una hoja de cálculo de Microsoft Excel (ver Tabla 4.2).

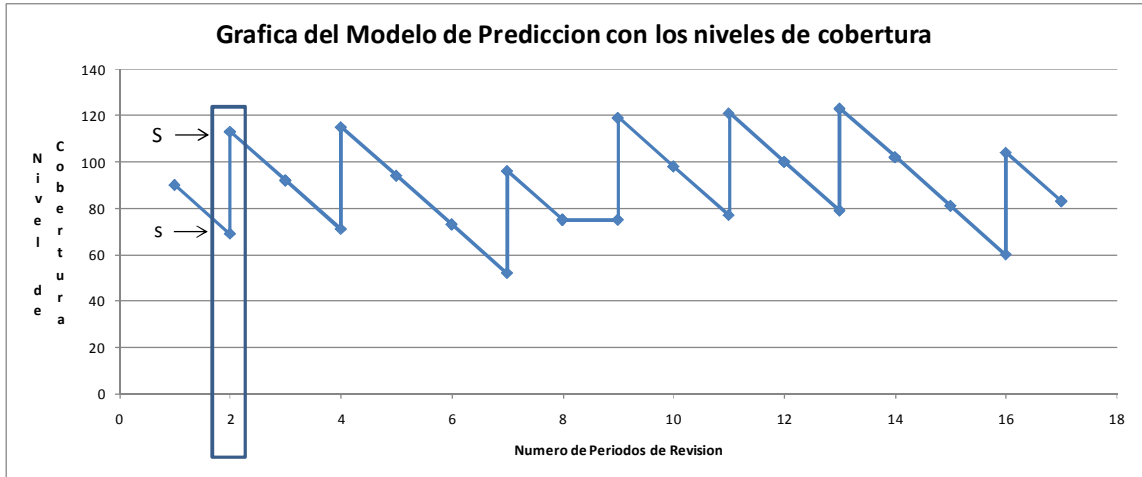
	Poste TRH 319 y complementos RH 166	Bisel de Consola Frontal / Poste TLH 319
Tiempo en Transito	20	20
Tiempo realizado para embarcar un dollie	21	21
Tiempo de Colocacion dentro de planta	16	16
Mezcla de Unidades	23	4
No. de Piezas en el dollie	24	6
Nivel de Cobertura Deseado	91.5	91.5
Duracion del Periodo de Revision	0.5	0.5
Demanda	42	42
Unidades en el Tunel	125	125
Estaciones a Punto de Uso	54	54
Nivel de Cobertura	90	90
comida	9	9
Tamaño de Poblacion	200	100
Horas estimadas de Observacion	9	9
Numero de Generaciones	50	50
Numero de Padres que seran seleccionados	200	100
Probabilidad de Cruza	0.9	0.9
Probabilidad de Mutacion	0.00001	0.00001

**Tabla 4.2.** Datos de entrada del Algoritmo Genético en hoja de cálculo. (Fuente: Elaboración propia).

Una vez que se procedió a la captura de los datos iniciales se realizó la corrida del Algoritmo Genético a través del programa Matlab en una computadora con procesador Intel Pentium Dual a 2.16 GHz y 3.00 GB de memoria Ram. La duración de la corrida fue de aproximadamente 40 segundos, esto debido principalmente que se exportan datos de Microsoft Excel a Matlab.

Los resultados se despliegan en Matlab y se exportan a Microsoft Excel para su análisis y presentación como graficas de dientes de sierra (Figura 4.5). Ahí se muestra como en el periodo 2 se comienza con un nivel **s**, y a través de una decisión de envió, se llega a incrementar el nivel de cobertura hasta la posición **S**.

Donde se obtiene un cromosoma de salida representado por números binarios de la mejor solución obtenida (Ver Tabla 4.3) y una secuencia de valores reales representados por la variable **Q**, que muestra los niveles **s**, **S** de salida. Estos valores son mostrados en la Tabla 4.4 para 19 periodos de revisión. Se pudo observar que el nivel **s** en el periodo 2 fue de 69 y el nivel **S** de 113.



**Figura 4.5.** Grafica de dientes de sierra representando los niveles  $s$ ,  $S$ . (Fuente: Elaboración propia).

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Binario	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0

**Tabla 4.3.** Cromosoma de salida para la  $Q$  optima. (Fuente: Elaboración propia).

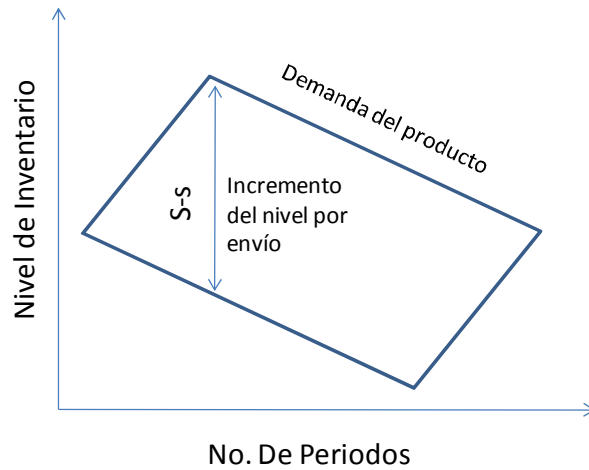
Periodo	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10
Nivel	90	69	113	92	92	71	115	94	94	73	73	52	96	75	75	75	119	98
Periodo	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19
Nivel	98	77	121	100	100	79	123	102	102	81	81	60	104	83	83	62	106	85

**Tabla 4.4.** Resultado de salida para los niveles  $s$ ,  $S$  durante 19 periodos de estimación. (Fuente: Elaboración propia).

Una representación grafica de efecto de los envíos en el nivel de cobertura se puede observar a través de un paralelogramo, en el cual la arista superior izquierda es considerada como el nivel de cobertura después de haber realizado un envío del material de acuerdo al tamaño del batch como se muestra la figura 4.6. La inclinación del paralelogramo es considerada como la demanda continua de material que en el caso de estudio es posible debido a



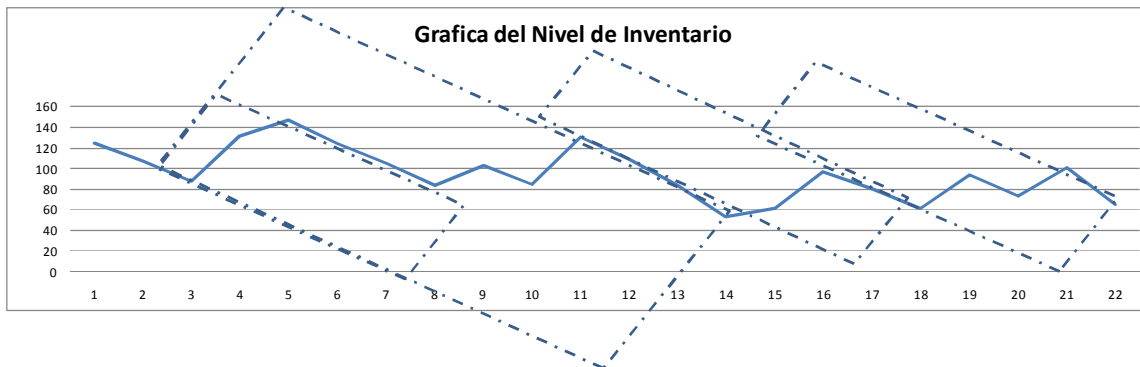
que la línea de producción la velocidad de la línea es constante y se mantiene la mayor parte del día, ya que involucra la capacidad que los proveedores



pueden abastecer.

**Figura 4.6.** Representación de paralelogramo para el nivel de inventario con demanda (Fuente: Elaboración propia).

A continuación se presentara una representación grafica de los niveles de inventarios para 22 periodos de media hora (ver Figura 4.7), con paralelogramos que identifican las disminuciones e incrementos de los niveles debido a la demanda y envíos para el sistema de secuenciado.

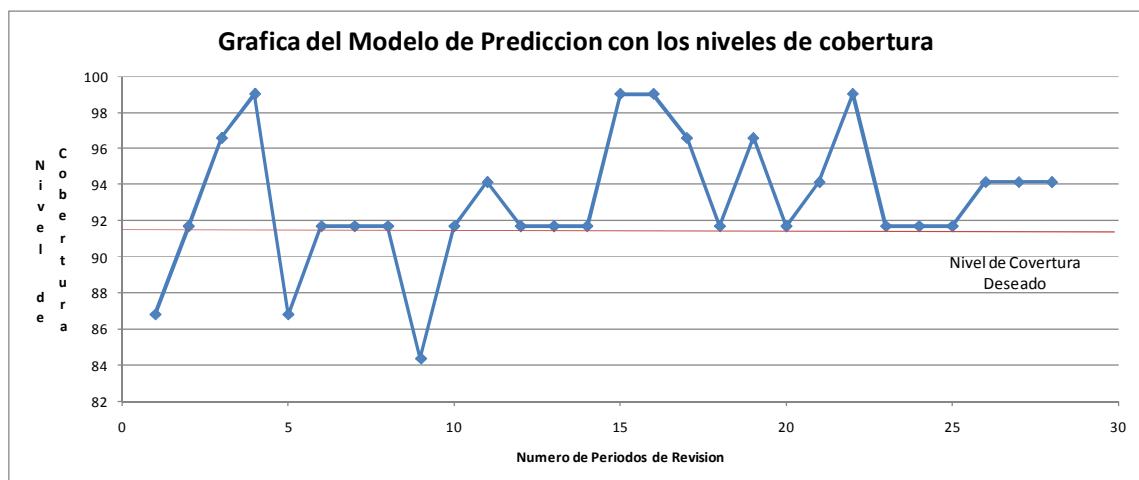


**Figura 4.7.** Grafica del nivel de inventario con representación de paralelogramo.

La representación del nivel de los inventarios con paralelogramo se usó para establecer el comportamiento de la demanda constante y continua, fijando como principal interés la búsqueda de la serie de decisiones realizadas durante un periodo.

### 4.3 Convergencia y Pruebas Estadísticas.

El punto de referencia considerado para obtener la convergencia en el algoritmo genético es el nivel de inventario deseado por parte de la compañía de interés. En la Figura 4.8 se puede observar como a través de las generaciones, el algoritmo va convergiendo hacia el nivel deseado, ya sea por debajo o sobre el nivel. Obteniendo así, el menor error de la generación sobre los niveles  $s$ ,  $S$  de cada cromosoma o escenario de decisión.

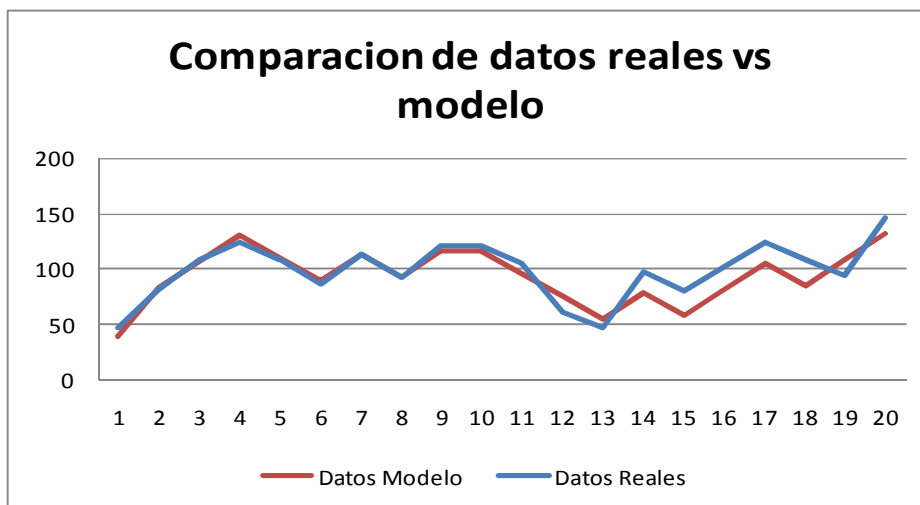


**Figura 4.8.** Promedio en los niveles  $s$ ,  $S$  del mejor individuo en cada generación. (Fuente: Elaboración propia).

La razón por la cual se considera como función objetivo a la minimización de error de predicción entre los niveles  $s$ ,  $S$  y el nivel de cobertura deseado es para obtener el mejor pronóstico que reduzca el riesgo de desabasto en las estaciones de trabajo.

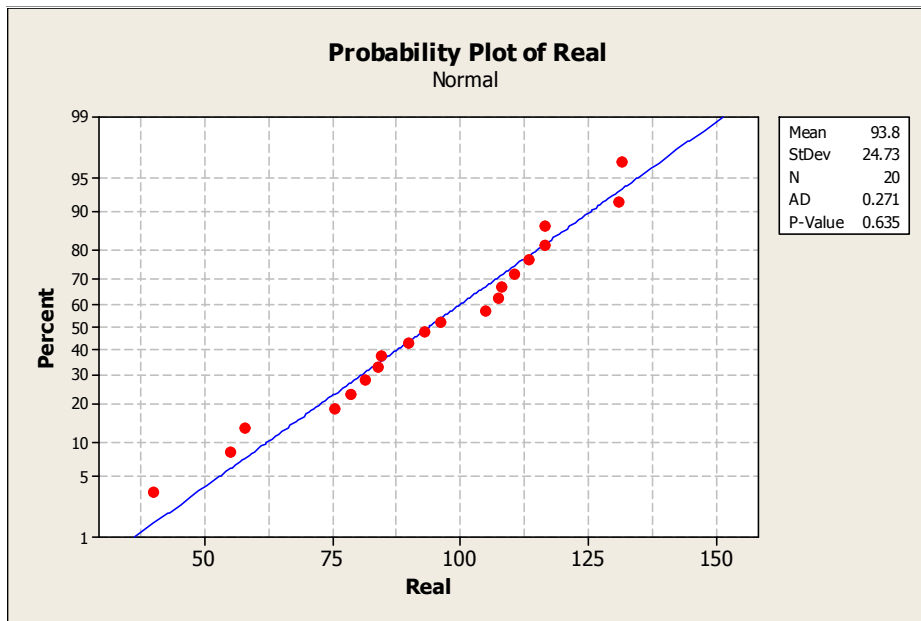
La función del algoritmo fue la búsqueda del escenario de decisión que produzca la línea planteada del nivel de cobertura deseado a través del mapeo de los escenarios de decisión.

Se realizó una verificación del modelo con datos reales del sistema tomando la secuencia de envíos como la población inicial del modelo, introduciendo y representado a través de un código binario como datos de entrada del modelo para un turno de 9 horas. Los resultados son graficados y representados en la figura 4.9 donde se observa las 2 trayectorias, una indicando los niveles de inventario obtenidos durante el turno y la otra muestra la interpretación de los niveles de inventario por el modelo con los datos de entrada obtenidos a través de la serie de decisiones durante el turno.

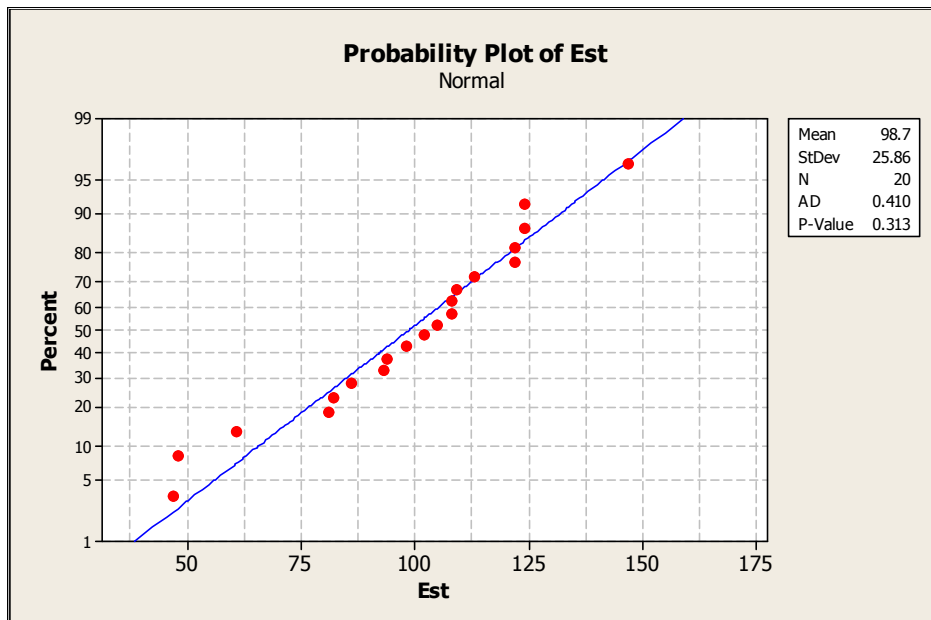


**Figura 4.9.** Grafica comparativa de resultados reales vs modelo. (Fuente: Elaboración propia).

Para estos valores se realizaron pruebas de Normalidad por medio del software estadístico Minitab, con el cual se verificó la igualdad de varianzas tomando en cuenta los datos obtenidos en los periodos de revisión de los niveles de inventarios, tanto para la operación (Ver Figura 4.10) como para la interpretación del modelo (Ver Figura 4.11).



**Figura 4.10.** Gráfica de Normalidad de los datos del Reales. (Fuente: Elaboración propia).

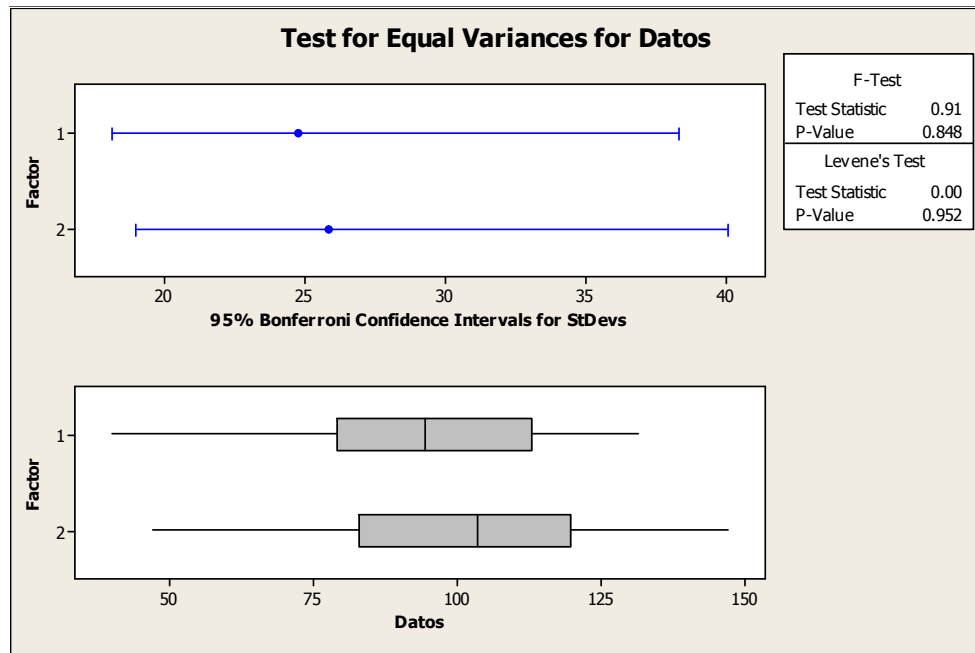


**Figura 4.11.** Grafica de Normalidad de los datos del Modelo. (Fuente: Elaboración propia).

Los datos de la prueba de normalidad mostraron que para ambos análisis el **P value** muestra valores por encima del  $= 0.05$ , lo cual nos da una evidencia estadística que existe normalidad en los datos de entrada (ver figura 4.7). A través de una prueba realizada en el software Minitab obtenemos una prueba de igualdad de Varianzas (ver Figura 4.12 y tabla 4.5).

Test for Equal Variances: Datos versus Factor				
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Factor	N	Lower	StDev	Upper
1	20	18.1193	24.7319	38.3171
2	20	18.9459	25.8602	40.0650
F-Test (Normal Distribution)				
Test statistic = 0.91, p-value = 0.848				
Levene's Test (Any Continuous Distribution)				
Test statistic = 0.00, p-value = 0.952				
Test for Equal Variances for Datos				

**Tabla 4.5.** Prueba de igualdad de Varianzas. (Fuente: Elaboración propia).

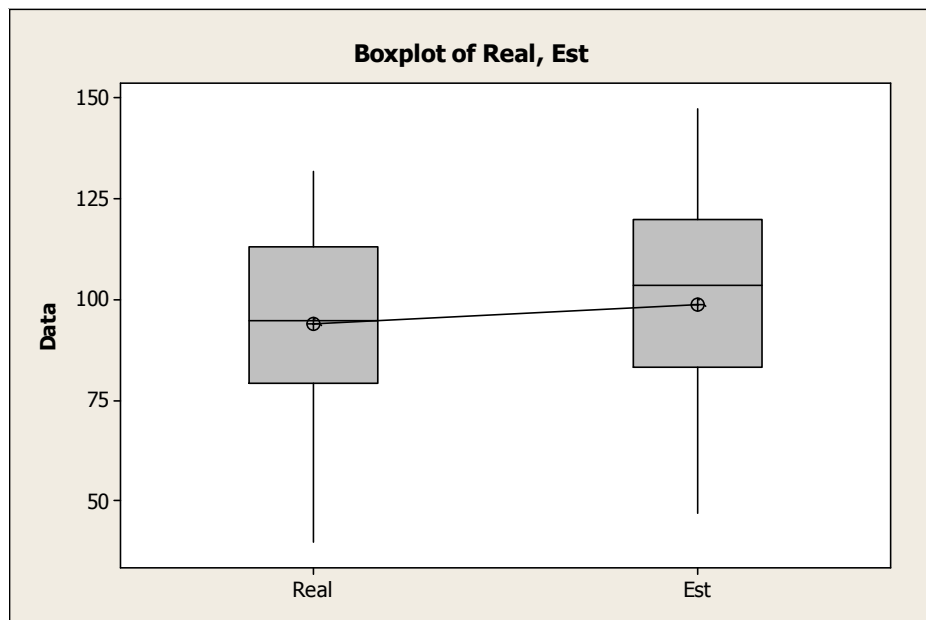


**Figura 4.12.** Gráfica de Prueba de Varianzas de los Datos. (Fuente: Elaboración propia).

Asimismo se desarrollo una prueba  $T$  para dos muestras (ver Tabla 4.6).

Two-Sample T-Test and CI: Real, Est				
Two-sample T for Real vs Est				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Real	20	93.8	24.7	5.5
Est	20	98.7	25.9	5.8
Difference = mu (Real) - mu (Est)				
Estimate for difference: -4.90				
95% CI for difference: (-21.10, 11.30)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.61 P-Value = 0.544 DF = 38				
Both use Pooled StDev = 25.3023				

**Tabla 4.6.** Prueba T para dos muestras. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 4.13.** Gráfica de Caja. (Fuente: Elaboración propia).

Del mismo modo, se obtuvo una representación gráfica en donde fue posible comparar las medias entre lo obtenido en línea, contra lo calculado a través del modelo (Ver Figura 4.13)

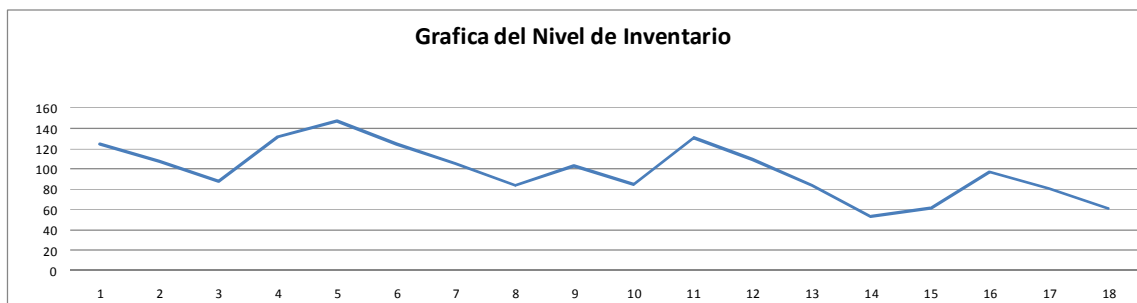
#### 4.4 Validación del Sistema.

El sistema fue probado para obtener su validación como herramienta de apoyo a las decisiones de envío en material secuenciado, indicando la serie de envíos con la cual el personal de embarques obtiene un inventario promedio deseado.

No solo se buscó el obtener un nivel promedio deseado, sino también el reducir el error con respecto a ese nivel. Ello a través de la evaluación en las opciones se busca obtener la menor variación acortando las veces en las que se llegan a los límites requeridos para lograr el abastecimiento.

De esta manera el sistema normalizó la frecuencia de envíos con el nivel de cobertura deseado, reduciendo las veces en las que se llegaba al nivel requerido para el abastecimiento. Se tomaron los niveles de cobertura de 2 turnos (ambos en el primer turno), primero se utilizaron decisiones de envío con base en el reporte de críticos y después se tomaron como base la serie de decisiones del sistema propuesto (ver Figuras 4.14 y 4.15).

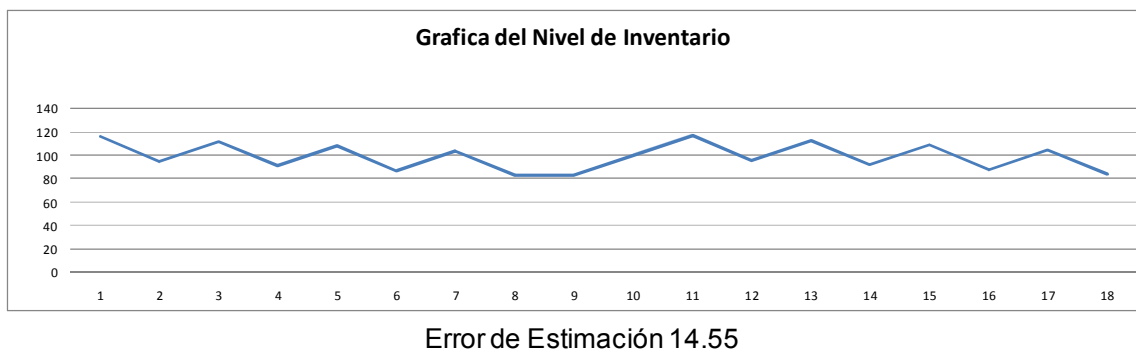
Se puede observar en la figura 4.14 que tomando como base el reporte de críticos, se llegó en 2 ocasiones por debajo de 65 unidades de cobertura en los periodos 14 y 15, con un error de predicción calculado en 28.54 con respecto al nivel de cobertura deseado.



Error de Estimación 28.54

**Figura 4.14.** Gráfica de nivel de inventario con base al reporte de críticos. (Fuente: Elaboración propia).

Dado que la finalidad del proyecto fue brindar una base cuantitativa para la toma de decisiones se presentó la propuesta considerando una serie de envíos en 18 periodos (1 turno productivo) de envíos de material secuenciado. El comportamiento que siguió el nivel de cobertura se muestra en la figura 4.15. Se puede observar que los niveles de cobertura no bajaron de 80 unidades, calculado un error de predicción de 14.55 con respecto al nivel de cobertura deseado.



**Figura 4.15.** Gráfica de nivel de inventario con base al sistema propuesto. (Fuente: Elaboración propia).

Los errores de predicción muestran la distancia promedio que existe entre el nivel de cobertura con el nivel de inventario en cada periodo. El nivel de inventario que es manejado mediante el sistema propuesto presentó un menor error de estimación, con lo cual se mostró la existencia de una menor variación con respecto al nivel de cobertura deseado.



#### **4.5 Conclusiones.**

La convergencia es utilizada en los algoritmos para llegar a un límite previamente buscado y definido. El manejo de un mayor número de soluciones factibles incrementa el área de búsqueda donde encontrar al mejor individuo, lo que aumenta la posibilidad de obtener mejores soluciones, que pueden ser encontradas por medio de métodos adaptativos para resolver problemas de convergencia evolutiva.

Mediante una política de operación del sistema de secuenciado, se utilizó un algoritmo genético para encontrar el escenario de decisión que tuviera el menor error de predicción conforme al nivel de cobertura deseado. Utilizando un lenguaje de programación apoyado en MATLAB R2008A y mediante una interface de datos con Microsoft Excel se obtuvieron los datos de entrada y salida que permitieron proporcionar un escenario de decisión con el cual realizar los envíos de material secuenciado de acuerdo a un número de periodos de revisión. Al mismo tiempo, proporcionó un análisis del comportamiento de la demanda que se tiene con el cliente y el comportamiento del número de vehículos del túnel de pintura.

El proyecto brindo una base para la realización de decisiones, partiendo del nivel actual de inventario, considerando las diferentes propiedades que posee cada familia de partes. Con la obtención de la serie de envíos se redujo los periodos críticos de demanda ocurridos durante el abastecimiento, con lo que se tuvo un mejor control de los recursos asignados. La descripción del sistema de secuenciado a través de políticas de operación y la búsqueda de un punto de jerarquización ayudo a obtener una mejor adaptación en la solución del sistema con respecto al manejo de una política de costos de operación, debido a que son difíciles de determinar cuándo se maneja una política de costos fijos.

La validación del sistema muestra la mejora de los niveles de coberturas con el sistema propuesto con respecto a la base del reporte de críticos.

## **Capitulo 5.**

## **Conclusiones.**

## **5.1 Introducción.**

El modelo propuesto se aplicó a las operaciones de secuenciado que un 3PL de clase mundial realiza para un ensamblador automotriz de los “Grandes Tres” instalada en el Clúster Automotriz Coahuila Sureste (CARSC). Cabe resaltar que este clúster es uno de los más importantes debido a su nivel de producción en vehículos ligeros (Sánchez et al, 2010).

La presente investigación surge como una necesidad de control y planeación por parte de la empresa de interés en cuanto al comportamiento de inventarios en estaciones de trabajo para una línea de ensamblado automotriz, siendo el responsable de mantener y secuenciar inventarios en las estaciones de la línea de vestiduras. Trabajando bajo supuestos de operación como lo son: i) costos fijos, ii) alta rotación inventarios, iii) poca información disponible para los requerimientos de material y iv) la aportación de un servicio como valor principal del negocio.

El desarrollo de la investigación se centro en cómo mejorar el servicio de envío de material secuenciado para la armadora automotriz, encontrando como principal actor al personal responsable de la toma de decisión de los envíos como los orquestadores del sistema de secuenciado moviendo el material e interpretando los requerimientos de su cliente. Así es como a través de un Algoritmo Genético se modeló el comportamiento del sistema, interpretado por las decisiones tomadas como escenarios posibles de decisión, los cuales pueden realizarse de forma aleatoria, y es a través de un método de selección el cómo se va segregando al mejor escenario producto de las generaciones de cambios y mutaciones.

El algoritmo puede ajustarse en cualquier periodo, con base en revisiones periódicas, calculando nuevamente un escenario de decisión, reduciendo la variación con respecto al nivel de cobertura deseado.

La utilización de mapeos en los escenarios de decisión sobre el nivel de cobertura deseado facilitó la obtención de resultados, al obtener las diferencias de estas y realizar una suma total de las diferencias se obtuvo el menor valor de las diferencias. Con ello se evaluó todos los valores de  $s$ ,  $S$  de los escenarios obtenidos.

Al realizar una prueba de igualdad de varianzas se obtuvo evidencia estadística para concluir que el modelo arroja datos con una media similar a los datos del sistema con un nivel de confianza del 95 %. Esto nos permitió considerar que el modelo obtiene una buena representación del sistema de secuenciado para la toma de decisiones.

Con respecto al objetivo general planteado al inicio de la presente investigación y el cuál estableció:

*"Diseñar e implementar un modelo cuantitativo basado en la revisión periódica de inventarios para el secuenciado que minimice el riesgo de desabasto, permitiendo al mismo tiempo la estabilización del banco de surtido en el punto de uso para los envíos ordenados con base al consumo"*

Se cumplió con el objetivo planteado proponiendo una mejor base para la toma de decisiones, se aportó un horizonte del abastecimiento de material y se mostró una serie progresiva de envíos de material secuenciado con lo cual se mantuvo el nivel de cobertura deseado.

Del mismo modo, con respecto a los objetivos específicos que se plantearon:

1. Conocer la secuencia de envíos que corresponda con la variación del tiempo de respuesta.

2. Obtener la secuencia de envío en un tiempo determinado.
3. Calcular envío de material en base a políticas de consumo.
4. Desarrollar un formato de información de fácil uso por parte de los secuenciadores.
5. Coadyuvar a reducir el riesgo de paros de línea en estaciones de trabajo.
6. Llevar un mejor control de inventarios en punto de uso.
7. Mejorar el nivel de servicio logístico percibido por el cliente.
8. Planear la mejor utilización de los recursos.
9. Calcular niveles de cobertura adecuados.

Los objetivos específicos planteados en un inicio fueron cumplidos de la siguiente manera:

1. Una secuencia de envío fue obtenida como la salida del modelo formulado con el algoritmo genético que persiguió el nivel jerárquico planteado. Las variables de entrada determinaron la situación actual del sistema.
2. La secuencia de envío se conoció en un intervalo de tiempo de 2 minutos, donde la mayor parte del tiempo se invirtió en la interface que existe entre el lenguaje de programación y la hoja de cálculo.
3. Las políticas de consumo se utilizaron para conocer el comportamiento del nivel de cobertura en las estaciones de trabajo tomando como base la secuencia de envío.
4. Se utilizó una interface entre la hoja de cálculo normalmente utilizada y el lenguaje de programación.
5. Con la secuencia de envíos como resultado del modelo se redujo la diferencia que existe entre el inventario y el nivel de cobertura deseado.
6. Se realizaron envíos programados con lo cual se obtuvo un mejor control en los inventarios en punto de uso.

7. Se obtuvo una reducción de los números críticos a seguir con lo que el sentido de urgencia se reduce y se mejora la percepción de servicio por parte del cliente.
8. Se cuenta con envíos programados con lo que se ayuda a planear la mejor utilización de los recursos.
9. Se obtienen niveles de inventarios adecuados a la demanda de consumo con envíos programados a la situación actual del sistema.

Dado que el modelo tuvo como principal beneficio el presentar en un tiempo futuro, un plan de acción para los envíos de material secuenciado para el cliente de la empresa de interés, se cuenta con una planeación factible con un comportamiento futuro en los niveles de cobertura y se conto con una base solida para la toma de decisiones.

Respecto a la hipótesis general de trabajo enunciada:

*“Al diseñar un modelo cuantitativo que considere la variabilidad generada en los inventarios como resultado de la interacción que presentan la frecuencia de envío y la demanda de producción, se tendrá una base para la toma de decisiones que posibilite un mayor y mejor control de los riesgos de desabasto de línea”*

Se puede confirmar positivamente gracias a que el diseño del modelo cuantitativo consideró la interacción de la frecuencia de envío y la demanda de producción como el principal factor que afectan a las decisiones en el sistema de secuenciado. Realizando una evaluación de los efectos de los envíos en los niveles de inventarios durante los periodos de revisión se puede ver que los cambios son sencillos de visualizar en el sistema a través del algoritmo, por lo que se logra obtener un mejor control de los abastecimientos de la línea de producción.

Durante la corrida del Algoritmo se pudo constatar que el modelo propuesto se comporto como un modelo de Inventarios, donde el valor “**S**” es similar a los valores tomados en cada periodo del inventario enviado a planta. Aun y cuando no se tenga una mezcla homogénea de la producción durante el día, el cliente cumple con su objetivo de producción diaria al final del día, esto lleva a la línea a lograr un equilibrio de los modelos producidos.

Del mismo modo las figuras 4.9 y 4.10 muestran una normalización como consecuencia de que el consumo depende de la velocidad de la línea de producción la cual se mantiene constante durante el día, aun y cuando la mezcla de los modelos no sea homogénea. El problema de mezcla es suavizado con el nivel de cobertura que mide las unidades lineales cubiertas a través del envío sin contar las cantidades físicas de las partes que se está mandando.

El proyecto de investigación tiene como aportación el brindar una propuesta con la cual realizar una serie futura de envíos considerando la situación actual, manejando así una mayor amplitud de soluciones factibles para su evaluación.

La solución se obtuvo considerando la decisión de envío como principal factor de cambio en los niveles de cobertura. Los costos de operación para la empresa de interés son inferiores al hecho de conseguir una penalización por desabasto por parte de su cliente, manejando un ambiente con ciclos cortos de inventario y ordenes de abastecimiento con pocas horas de reacción.

Las soluciones factibles son evaluadas siguiendo un proceso natural (algoritmo genético) obteniendo las mejoras durante las generaciones de individuos (escenarios factibles de decisión) hasta que se obtiene una respuesta influenciada por el criterio de selección.

Sin embargo el área de oportunidad radica en la constante vigilancia de la cantidad de información que se tenga disponible por parte del cliente, con los

problemas de abastecimiento que pueda presentar el área de pinturas, la cual presente problemas de calidad o apariencia en los modelos, y recorta la disponibilidad de estos.

Aunque es importante señalar que si se hace un estudio de las causas que provocan el desabasto de unidades en pintura, se puede lograr un modelo más robusto que permita planificar con menores periodos de revisión los niveles de cobertura durante el turno.

Los datos fueron tomados en base a las medias de las variables, por lo que se considera que algunas variables pueden sufrir cambios conforme cambie el sistema. El modelo tiene la flexibilidad de cambiar conforme se realizan los cambios necesarios en las variables para ajustar mejor el resultado del modelo de inventario.

La principal aportación de la investigación es proporcionar un apoyo que ayude a tomar mejores decisiones sobre los envíos de material secuenciado, brindando una armonía al sistema de secuenciado, buscando no trabajar bajo presiones innecesarias y presentando una estabilidad para el cliente de la empresa de interés. El funcionamiento del algoritmo interpreta el funcionamiento del sistema y se activa por medio de la representación de las serie de decisiones que son evaluadas para obtener la mejor después de aplicar un método de evolución.



## **5.2 Investigación Futura.**

Trabajos futuros pueden estar encaminados al estudio de los factores que influyen en los cambios de mezcla de los vehículos en la línea de producción. Al control de la programación de producción de los vehículos. Tomando en cuenta que la planificación segura de producción es de unas cuantas horas. Con lo que se invierten más recursos, para garantizar tener justo a tiempo el material. Con lo que se dificulta la realización de una planeación enfocada a disminuir los recursos asignados, provocado por la dependencia de las necesidades surgidas durante la producción.

Una extensión de este trabajo se deriva de la relación sucedida entre el flujo de salida de material secuenciado con respecto al tamaño del espacio necesario de almacén para cada parte secuenciada. Como una fuente de soporte para la operación de abastecimiento en estaciones de trabajo de la línea de producción. Así como las decisiones de envío con los diferentes recursos que interactúan en el proceso de secuenciado, como lo son el factor humano y la necesidad de transporte.

Haciendo mención al transporte de material entre el 3PL y su cliente, la falta de un estudio de confiabilidad en el servicio de entrega, aumenta la cantidad de recursos destinados al equipo móvil, lo que deriva en altos costos de operación, y poca eficiencia de los recursos disponibles para la operación, disminuyendo así el nivel de competitividad con respecto al mercado.

El desarrollo de teoría surgida a través de investigaciones futuras en el campo de la logística, debe contemplar las condiciones de operación en su funcionamiento dentro de la cadena de suministro, entendiendo que cada especialización del negocio genera una importante cantidad de información, y aun y cuando se puede partir del mismo origen, es en el detalle donde se encuentra la innovación.

## **Bibliografía**

- Anderson E., Coltman T., Devinney T. y Keating B. (2010).** What drives the choice of a third party logistics provider. *Journal of Supply Chain Management*, Vol. 47, pp. 97-115.
- Arvis J., Mustra M., Ojala L. y Shepherd B. (2008).** The Global Enabling Trade Report 2008. *World Economic Forum 2008*, cap. 1.4. pp. 53-66.
- Automotive Sequencing (2010).** [En línea]. Consultado el día 28 de Abril de 2011. <automotivesequencing.com>
- Bahadur G., Nath T., y Raj S., (2011).** Cross-docking operations for supply chain logistics in JIT production and distribution systems. *Journal of the Institute of Engineering*, Vol. 8, No. 1-2, pp. 219-230.
- Ballou R.H. (2009).** *Logística Administración de la Cadena de Suministro*, Quinta Edición. Pearson Prentice Hall.
- Banco Mundial (2010).** [En línea]. Connecting to Complete 2010, The logistics performance index and its indicators, trade logistics in the global economy. <www.worldbank.org>
- Benkherouf L. y Sethi S. (2010).** Optimality of (s, S) Policies for a Stochastic Inventory Model with Proportional and Lump-sum Shortage Costs. *Operations Research Letters*, Vol. 38, No. 4, pp. 252-255.
- Bennett D. y Klug F. (2009).** Automotive supplier integration from automotive supplier community to modular consortium. 14th Annual Logistics Research Network Conference, Cardiff UK, pp. 698-705.
- Bhattacharya R. y Bandyopadhyay S. (2010).** A review of the causes of bullwhip effect in a supply chain. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 54, No. 9-12, pp. 1245-1261.
- Bilgen B. y Günther H. (2009).** Integrated production and distribution planning in the fast moving consumer goods industry: a block planning application. *OR Spectrum*, Vol. 32, No. 4, pp. 927-955.

- Boysen N., Fliedner M. y Scholl A. (2007).** Sequencing mixed model assembly lines to minimize part inventory cost. *OR Spectrum*, Vol. 30, No. 3, pp. 611-633.
- Boysen N., Fliedner M. y Scholl A. (2009).** Level scheduling of mixed model assembly lines under storage constraints. *International Journal of Production Research*, Vol. 47, No.10, pp. 2669-2684.
- Ceva Logistics Planta Ramos Arizpe (2010).** Consultado el día 7 de Noviembre del 2010. <[www.cevalogistics.com](http://www.cevalogistics.com)>
- Chlan A., Gottfried M. (2010).** Localization of logistics centers in the Czech republic and the decision making ways about proveedor externo of logistic services. 5th International Scientific Conference, Pardubice Republica Checa, pp. 311-317.
- Crainic T., Marcotte S., Rei W. y Takouda P. (2009).** Proactive Order Consolidation in the Retail Supply Chain. *Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks Logistics and Transportation [2009]*. Vol. 37, pp. 1-14.
- Dangelmaier W., Blecken A., Delius R. y Klöpfer S. (2010).** Advanced manufacturing and sustainable logistics. 8th International Heinz Nixdorf Symposium, No. 2010924281, ISSN 1865-1348 Paderborn, Alemania, pp. 408-419.
- Einstein, A. y Infeld, L. (1938).** *The evolution of Physics*. Reeditado por Redwood Burn Limited, Trowbridge & Esher, 1978.
- Fliedner M., Boysen N. y Scholl A. (2010).** On the part inventory model sequencing problem: complexity and beam search heuristic. *Journal of Scheduling*, Vol. 14, No. 1, pp. 17-25.
- Golle U., Boysen N. y Rothlauf F. (2009).** Analysis and Design of Sequencing Rules for Car Sequencing. *European Journal of Operational Research* Vol. 206, pp. 579-585.

- Gu B. (2009).** Trigonometric curve fitting based on genetic algorithm and the application of data processing in geography. *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 51, No. 2, pp. 104-109.
- Gunasekaran A. y Ngai E. (2003).** The successful management of a small logistics company. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 33, No. 9, pp.825 - 842.
- Gunner H, Tunali S. y Jans R (2008).** A review of applications of genetic algorithms in lot sizing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 21, No. 4, pp. 575-590.
- Haraldson S. y Lind M. (2010).** The emergence of a multi organizational view on business processes experiences from a double loop action research approach. 16th Americas Conference on Information Systems [2010], Lima, Peru, AMCIS-0784-2010.R1, pp. 1-11.
- Hernández S., Fernández D. y Baptista (2010).** Metodología de la Investigación.
- Huang S., Yeh C., Budd W. y Chen L. (2009).** A Sensitivity Model (SM) approach to analyze urban development in Taiwan based on sustainability indicators. *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 29, No. 2, pp. 116-125.
- Ivanov D. y Sokolov B. (2010).** Dynamic supply chain scheduling. *Journal of Scheduling*, DOI: 10.1007/s10951-010-0189-6.
- Karagul H. y Albayrakoglu M. (2007).** Selecting a third party logistics provider for an automotive company: an analytic hierarchy process model. 9th International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Viña del Mar, Chile [2007].
- Khan M., Al-Mushayt O., Alam J. y Ahmad J. (2010).** Intelligent Supply Chain Management. *Journal of Software Engineering & Applications*, doi:10.4236/jsea.2010.34045, pp. 404-408.

- Kovacs G. y Spens K. (2005).** Abductive reasoning in logistics research. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 35, No. 2, pp.132-144.
- Kumar V. (2010).** JIT Based Quality Management: Concepts and Implications in Indian Context. International Journal of Engineering Science and Technology, Vol.2, No.1, pp. 40-50.
- Langley J. (2010).** 2010 Third Party Logistics, the state of logistics outsourcing, results and findings of the 15th annual study. [En línea]. Consultado el día 22 de Abril del 2011 Disponible en <<http://www.scl.gatech.edu/research/supply-chain/20103PLReport.pdf>>
- Large R. (2010).** Partner specific adaptations, performance, satisfaction, and loyalty in third party logistics relationships. Logistics Research, Vol. 3, No. 1, pp. 37-47.
- Liu S. y Fang Z. (2009).** Study on the relationship between customer satisfaction and 3PL costs. International Journal of Business and Management, Vol. 4, No 6, pp. 23-28.
- Mansouri S., Gallear D., y Askariazad M. (2010).** Decision support for build to order supply chain management through multiobjective optimization. International Journal of Production Economics, DOI:10.1016/j.ijpe.2010.11.016.
- Meyr H. (2004).** Supply chain planning in the German automotive industry. OR Spectrum, Vol. 26, No. 4, pp. 447-470.
- Nance R. y Arthur J. (2006).** Software requirements engineering: exploring the role in simulation model development. Proceedings of the Third Operational Research Society Simulation Workshop, pp. 117- 127.
- Offermann P. et al (2009).** Outline of a Design Science Research Process. Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology, ISBN: 978-1-60558-408-9.

- Olivares E., Gonzalez J. y Rios R. (2010).** A supply chain design problem with facility location and bi objective transportation choices. TOP, DOI: 10.1007/s11750-010-0162-8.
- Pelikan M. (2010).** Genetic Algorithms. MEDAL Report No. 2010007 Agosto 2010, University of Missouri–St. Louis, pp. 1-28.
- Poojari C. y Beasley J. (2009).** Improving benders decomposition using a genetic algorithm. European Journal of Operational Research, Vol. 199, No. 1, pp. 89-97.
- Rajkumar J. y Shahabudeen P. (2009).** An improved genetic algorithm for the flowshop scheduling problem. International Journal of Production Research, Vol. 47, No. 1, pp. 233-249.
- Robbins S. y Coulter P. (2005).** Administración, Octava Edición. Pearson Prentice Hall.
- Sanchez C., Cedillo M., Perez P. y Martinez J. (2009).** Global economic crisis and Mexican automotive suppliers: Impacts on the labor capital. SIMULATION, vol. 87 no. 8, pp. 711-725.
- Santos J., Wysk R. y Torres J. (2006).** Improving production with lean thinking. Editorial John Wiley y Sons. New Jersey.
- Shafique F. y Mahmood K. (2010).** Model Development as a Research Tool: an example of PAK-NISEA. Library Philosophy and Practice 2010 Electronic Journal ISSN 1522-0222.
- Soh S. (2009).** A decision model for evaluating third party logistics providers using fuzzy analytic hierarchy process. African Journal of Business Management, Vol. 4, No.3, pp. 339-349.
- Tharing M., Andén F., (2007).** Cost efficiency in the development process of special packaging in the automotive industry - A Case Study at Volvo Car Corporation. Tesis de Maestría en Ciencias. Escuela de Ingeniería en la Universidad de Borås. Suecia.

- Trappey C., Trappey A., Chang A. y Huang A. (2010).** Clustering analysis prioritization of automobile logistics services. *Industrial Management & Data Systems*, DOI 10.1108/02635571011044759.
- Vélez M. y Castro, C. (2002).** Modelo de revisión periódica para el control del inventario en artículos con demanda estacional una aproximación desde la simulación. *Dyna*, Vol. 69, No. 137, pp. 23-34.
- Wagner S. y Silveira V. (2010).** Decision model for the application of just in sequence. *International Journal of Production Research*, Vol. 49, No. 19, pp. 5713-5736.
- Wensing Tomas (2009).** Simulation of periodic review inventory policies. *European Journal of Operational Research*, Vol. 151, No. 3, pp. 536-551.
- Windt K., Hulsmann M. (2007).** Changing Paradigms in Logistics Understanding the shift from conventional control to autonomous cooperation and control. *The Impact of Autonomy on Management, Information, Communication, and Material Flow*, pp. 4–16.
- Xu Y., Bisi A. y Daba M. (2010).** A periodic review base stock inventory system with sales rejection. *Operations Research*, vol. 59, No. 3, pp. 742-753.
- Zhou S., Chao X. y Lee C. (2009).** Optimal transportation policies for production/inventory systems with an unreliable and a reliable carrier. *Journal of Global Optimization*, Vol. 44, No. 2, pp. 251-271.
- Zhou B., Katehakis M., Zhao Y. (2008).** Managing stochastic inventory systems with free shipping option. *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, No. 1, pp. 186-197.

## **ANEXO.**

**Anexo A Æ Carta de liberación de empresa.**

**Anexo B Æ Algoritmo Genético.**





```

function
[xb,zas,Z,Q]=algoritmoGeneticol(hrs,nP,com,ut,epu,cob,t,de,nG,nS,pC,pM,
niv,pzs,mez,emo,tto,clion)

% Implementacion de un algoritmo genetico, por Dario Morones. Se
% asume que es un problema de minimizacion.
% VARIABLES DE ENTRADA:
%   emo : tiempo realizado para embarcar un carro
%   tto : tiempo en transito
%   colo: tiempo de colocacion dentro de planta
%   pzs : No. de piezas en el carro
%   mez : mezcla de consumo
%   niv : nivel de cobertura deseado
%   hrs : horas estimadas en observacion
%   nP : tamaño de la poblacion.
%   com : comida
%   cob : cobertura
%   t   : tiempo
%   de  : demanda
%   epu: estaciones a punto de uso
%   tt  : tiempo en transito
%   nG  : numero de generaciones.
%   nS  : numero de padres que seran seleccionados para generar hijos
%   pC  : probabilidad de cruza
%   pM  : probabilidad de mutacion.
% VARIABLES DE SALIDA:
%   Q : valor, en numeros reales, de la mejor solucion encontrada
%   xb : valor, en numeros binarios, de la mejor solucion encontrada
%   Z : valor de la funcion objetivo de la mejor solucion encontrada

```

```

% Se inicia el tamaño de poblacion la poblacion
poblacion=iniciaPoblacion(nP,hrs);
% Se obtienen los valores iniciales de inventario de S,s a traves de la
% codificacion.
[Q,R]= funcion1(poblacion,cob,t,de,com,pzs,mez,emo,tto,clion,ut,epu);
% Se evalua la funcion
f=calculaF(Q,niv);
% Se evalua la aptitud de l a poblacion inicial
aptitud=calculaAptitud( f );
% Se elige al mejor individuo de la poblacion
[z, ind]=min(f);
xb = poblacion(ind, :);
Z=z;
% Se realizan la iteraciones del algoritmo genetico
for i = 1:nG
    % Seleccion de los padres a traves de torneo
    seleccionados=selecciontorneo(aptitud,poblacion,nS,nP);
    % De codigo binario a GRAY
    CG=binarioAgray(nP,seleccionados);
    % Generacion de hijos a partir de cruza con padres
    Hijos=cruzaPadres(CG,nS,pC,nP);
    % De Gray a Binario
    GAB=grayAbinario(nP,Hijos);
    % Mutacion de los hijos
    HijosM=mutaContinua( GAB, pM );
    % Aplicacion de elitismo a los hijos
    [Q,R]= funcion1(HijosM,cob,t,de,com,pzs,mez,emo,tto,clion,ut,epu);
    %Se actualiza la poblacion, los valores de funcion objetivo y la
mejor
    %solucion encontrada
    f=calculaF(Q,niv);
    poblacion = HijosM;
    aptitud=calculaAptitud( f );
    % elitismo
    [z, ind]=min(f);
    zas(i,1)=z;

```

```
if z < Z
    xb = HijosM(ind, :);
    Z=z;
end
end
[Q,R]= funcion1(xb,cob,t,de,com,pzs,mez,emo,tto,clion,ut,epu);
end
```

## Sub Programa

### Inicia Población

```
function poblacion=iniciaPoblacion(nP,hrs)
col=(hrs/0.5)+1;
poblacion = rand(nP,col) < 0.5;
```

### Obtención de los Niveles (s,S)

```
function [Q,R]=
funcion1(poblacion,cob,t,de,com,pzs,mez,emo,tto,clion,ut,epu)
[ren,col]=size(poblacion);
S=[];
s=[];
Q=[];
R=[];
prom=[];
tt=(tto/60)*de;
em=(emo/60)*de;
cion=(clion/60)*de;
lip=tt+em+cion;
lsp=ut+epu-(pzs*de)/mez;
for j=1:ren
    S(j,1)=cob;
    s(j,1)=cob;
    ba=0;
    z=1;
    z1=2;
    z2=1;
for i=2:col
    if poblacion(j,i)==1
        ba=ceil((pzs*de)/mez);
    else
        ba=0;
    end
```

```

    if s(j,i-1)>=lsp
        ba=0;
    end
    if s(j,i-1)<=lip
        ba=ceil((pzs*de)/mez);
    end
    S(j,i)=s(j,i-1)+ba;
    s(j,i)=S(j,i)-(de*t);
    if i==com
        s(j,i)=S(j,i);
    end
    Q(z,j)=S(j,i);
    Q(z1,j)=s(j,i);
    R(z,j)=z2;
    z2=z2+1;
    R(z1,j)=z2;
    z=z+2;
    z1=z1+2;
end
end
end

```

**Función de Minimización del Error con respecto al nivel de Cobertura Deseado.**

```

function f=calculaF(Q,niv)
[re,co]=size(Q);
f=[];
fe=[];
for j=1:co
for i=1:re
fe(i,j)=(Q(i,j)-niv)^2;
end
f(j,1)=sqrt(sum(fe(:,j))/(re-2));
end
end

```

## Calculo de Aptitud.

```
function aptitud=calculaAptitud( f )

[nf, uno] = size(f);
aptitud = ones(1, nf);
maximo = max(f);
minimo = min(f);

if (maximo - minimo) > 0.0000000000001;
    aptitud = 2 * ( f - minimo ) / (maximo - minimo) + 1;
else
    aptitud = ones(nf,uno);
end
```

## Selección Torneo

```
function seleccionados=selecciontorneo(aptitud,poblacion,nS,nP)
[ren,col]=size(poblacion);
seleccionados=ones(nS, col);
Padre=ones(nS,1);
parejas = ceil( rand( nS, 2 ) * nP );
for i=1:nS
    if aptitud(parejas(i,1)) < aptitud(parejas(i,2))
        Padre(i,1)=parejas(i,1);
    else
        Padre(i,1)=parejas(i,2);
    end
    seleccionados(i,1:col) = poblacion(Padre(i,1),1:col);
end
end
```

## Binario a Gray

```
function CG=binarioAgray(nP,seleccionados)
```

```

[reng, colu]=size(seleccionados);
CG=[nP, colu];
acg=[nP, colu];
bcg=[nP, colu];
acg(1:nP, 2:colu)=seleccionados(1:nP, 2:colu);
bcg(1:nP, 2:colu)=seleccionados(1:nP, 1:colu-1);
CG(1:nP, 1:colu)=xor(acg(1:nP, 1:colu), bcg(1:nP, 1:colu));
CG(1:nP, 1)=seleccionados(1:nP, 1);
end

```

## Cruza Padres

```

function Hijos=cruzaPadres(CG, nS, pC, nP)
[reng, col]=size(CG);
parejas = ceil( rand( nS, 2 ) * nS );
Hijos = zeros(reng, col);
for i=1:nS/2
    padre1 = CG(parejas(i, 1), :);
    padre2 = CG(parejas(i, 2), :);
    if ( rand < pC )
        % [hijo1, hijo2]=cruzaContinua(padre1, padre2);
        % [hijo1, hijo2] = cruzaUnPunto( padre1, padre2 );
        [h1, h2]=cruza2Puntos(CG, padre1, padre2, nS, nP);
        Hijos(2*i-1, :) = h1;
        Hijos(2*i, :) = h2;
    else
        Hijos(2*i-1, :) = padre1;
        Hijos(2*i, :) = padre2;
    end
end
end
end

```

## Gray a Binario

```

function GAB=grayAbinario(nP, Hijos)

```



```

[reng,colu]=size(Hijos);
GAB=[nP,colu];
for z=1:nP
    for i=1:colu
        GAB(z,1)=Hijos(z,1);
        GAB(z,1)=Hijos(z,1);
        for j=1:colu-1
            GAB(z,j+1)=abs(GAB(z,j)-Hijos(z,j+1));
        end
    end
end
end
end

```

## Mutación

```

function HijosM=mutaContinua( GAB, pM )

[nH, nB] = size( GAB );
decision = rand( nH, nB ) < pM;

HijosM = ( GAB + decision ).*( 1 - GAB + 1 - decision );
end

```

## Elitismo

```

[z, ind]=min(f);
zas(i,1)=z;
if z < Z
    xb = HijosM(ind, :);
    Z=z;
end

```