

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



**Sistema Dinámico de Evaluación Logística en una Red
Regional de Aprovisionamiento Automotriz:
El Caso de la Región Sureste de Coahuila**

TESIS

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

**Presenta
Cuauhtémoc Sánchez Ramírez**

Saltillo, Coahuila, México. Septiembre 2010.

Agradecimientos.

A **Dios**, por darme la oportunidad de concluir una de las metas más importantes de mi vida profesional.

A mis **Padres, Alfonso Sánchez[†] y Sara Ramírez**, por enseñarme que los objetivos se logran con trabajo, honestidad y esfuerzo.

A mis **Tios, Félix de Jesús y María de los Ángeles**, les agradezco me hayan hecho sentir parte de su familia durante el desarrollo de mis estudios y por todo su apoyo incondicional.

A mi **Tutor Académico, Dr. Gastón Cedillo**, porque mis logros como profesionalista son compartidos con él. Y por su amistad y enseñanzas, que fueron fundamentales en los momentos más difíciles.

A mi **Prometida, Liz Bocardo y Familia**, por la comprensión que tuvo durante mis estudios; y por su amor y cariño, que fueron la fuerza para seguir adelante.

A mis **Hermanos y Esposas, Agustin y Judith, Armando e Isabel, Rocio y Raúl**, por sus palabras de aliento y consejos.

A mis **Sobrinos, Axel, Adrián, Karen, Paquito e Ivana**, por ser el motor de nuestra familia.

A mis **Primos, Nelly, Claudia y Félix**, por hacerme sentir como un hermano más y compartir parte de su vida conmigo.

A la **M.C. Claudia González**, coordinadora de Posgrado de COMIMSA, por creer siempre en mi y por todo el apoyo brindado durante mis estudios.

Al **Dr. Pedro Pérez**, a quien agradezco su infinito apoyo, consejos y amistad recibidos durante mis estudios.

A **Flora Hammer**, agradezco su apoyo para el desarrollo exitoso de mis publicaciones en inglés; su ayuda me permitió transmitir lo esencial de las investigaciones.

A **Darwin Young**, quiero agradecerle, su amistad, experiencias transmitidas y su ayuda para que este trabajo de investigación, fuera validado en una de las empresas proveedoras del CARSC, perteneciente al Grupo GIS.

A todos mis **Compañeros y Amigos**, que conocí durante mis estudios y que siempre los llevaré presentes, **Antonio Salcedo, Héctor Ariel, Guillermo Gudiño, Julio Valdés, Alejandro Cheang, Alfredo Campos, Elias Carrum, Ignacio Dávila, David González y Rolando Praga.**

A **todo el personal del área de Posgrado de COMIMSA** por el apoyo recibido durante la realización de mis estudios.y al **Departamento de Logística de CIFUNSA Planta 3**, por su decidido soporte para el desarrollo aplicado de mi investigación.

A mis **Amigos**, por la amistad recibida, especialmente a **Miguel Verdejo, Irma González, Francisco Reyna, María Elena Castillo y Arturo Saldivar[†].**

Contenido.

Resumen.....	6
Abstract.....	7
Lista de Figuras.....	8
Lista de Tablas.....	10
Capitulo I. Introducción.....	11
1.1 Contexto General de la Investigación.....	12
1.2 Cadenas de Suministro como Factor de Éxito.....	15
1.3 Definición del Problema y Justificación.....	20
1.4 Enfoque de Investigación y Metodología.....	21
1.5 Organización de la Investigación.....	22
Capitulo II Industria Automotriz y Cadenas de Suministro.....	25
2.1 Introducción.....	26
2.2 Tendencias de la Industria Automotriz.....	29
2.3 Ensambladores y Proveedores.....	31
2.3.1 Industria Automotriz Mexicana.....	34
2.3.2 Cluster Automotriz de Coahuila.....	35
2.4 Alcance de la Investigación.....	38
Capitulo III Enfoque de Investigación y Metodología.....	39
3.1 Introducción.....	40
3.2 Enfoques y Líneas de Investigación.....	40
3.2.1 Justificación Significativa para la Construcción de Teoría.....	41
3.2.2 Encuestas en la Administración de la Cadena de Suministro.....	42
3.2.3 Investigación de Casos de Estudio en la Cadena de Suministro.....	43
3.2.4 Modelación y Simulación.....	43
3.3 Enfoque de Investigación Abductivo.....	44
3.4 Desarrollo de la Metodología de Investigación.....	45
3.5 Selección de la Metodología de Simulación para Desarrollar el Sistema de Evaluación.....	48
3.5.1 Planteamiento del Problema.....	50
3.5.2 Formulación de Hipótesis Dinámicas.....	51
3.5.3 Formulación del Sistema de Simulación.....	59
3.5.3.1 Proceso de Aprovisionamiento.....	61
3.5.3.2 Proceso de Producción.....	62
3.5.3.3 Proceso de Distribución.....	64
3.6 Conclusiones.....	66
Capitulo 4 Análisis de los Resultados de la Validación y Aplicación del Sistema.....	68
4.1. Introducción.....	69
4.2 Software y Pruebas de Validación Iniciales.....	70

4.3 Validación del Sistema en CIFUNSA Planta 3.....	72
4.4 Validación del Sistema con Diseño de Experimentos.....	82
4.5 Evaluación de la Cadena de Suministro de CIFUNSA.....	86
4.6 Conclusiones.....	93
Capítulo 5. Conclusiones.....	94
5.1 Introducción.....	95
5.2 Aportaciones y Conclusiones de la Investigación.....	96
5.4 Trabajo Futuro.....	98
5.4.1 Agregación de otros Subsistemas.....	98
5.4.2 Aplicación en otros Sectores Industriales.....	98
5.4.3 Aplicación de otros Enfoques de Validación del Sistema.	99
Bibliografía.....	100
Anexo A – Encuestas exploratorias.....	111
Anexo B – Ecuaciones del sistema.....	117
Anexo C – Validación del sistema.....	136
Anexo D – Difusión de resultados.....	137

Resumen

Las economías emergentes serán base del desarrollo futuro de la industria automotriz mundial. En este contexto, para las empresas del sector es cada vez más necesario el desarrollo y uso de sistemas que les permitan evaluar sus procesos clave y definir estrategias que estén coordinadas con las tendencias del sector. La crisis global del año 2008-2009, impacto gravemente este sector industrial, como resultado, las empresas automotrices están ahora más dispuestas a desarrollar análisis detallados sobre el comportamiento del sector. Sin embargo, la multiplicidad de variables involucradas y sus interrelaciones hacen de los análisis una tarea compleja. Un detallado análisis de la literatura sobre la problemática automotriz global y un diagnóstico realizado al Cluster Automotriz de la Región Sureste de Coahuila (CARSC), corroboró la necesidad de estos sistemas y de otros que permitieran la mejora continua de los procesos decisionales. De este modo, la presente investigación tuvo como objetivo, desarrollar un sistema de evaluación que permita a las empresas medir el desempeño de los procesos logísticos de sus cadenas de suministro, pero sobre todo, mejorarlos de manera dinámica según las variaciones del contexto de operación. Entre los resultados obtenidos de esta investigación, están principalmente dos: *i)* el desarrollo de una metodología bajo un enfoque de investigación abductiva, para la modelación y simulación de cadenas de suministro y, *ii)* el análisis sistémico de las variables clave que permiten identificar las estructuras de retroalimentación entre los procesos logísticos de la cadena de suministro. La validación de los resultados obtenidos con la aplicación del sistema desarrollado, se llevo a cabo mediante técnicas de validación a la estructura y desempeño del modelo, así como con un enfoque estadístico de diseño de experimentos (DOE). Aunque el sistema fue aplicado en una empresa Tier 1 perteneciente al Cluster Automotriz de la Región Coahuila Sureste (CARCS), debido a la estandarización de los procesos logísticos, se pudo comprobar que el sistema propuesto puede ser utilizado en otros sectores industriales. Dentro del trabajo futuro, se ampliará el sistema de evaluación, integrando otros factores que influyen el desempeño de las cadenas de suministro en cluster industriales.

Abstract

The emerging economies will be the basis of the development to come of the global automotive industry. In this context, for the companies from this industry, it will be more and more necessary to develop and use systems that enable the evaluation of their key processes and the definition of strategies coordinated to the sector trends. The global crisis of 2008-2009 had a terrible impact on this industry; as a result, the automotive companies are now more open to develop precise analysis regarding the industry behavior. Nevertheless, the multiple variables involved and their interrelations make the analysis a complex task. A complete analysis of the literature dealing with the global automotive question and a diagnosis carried out at the Automotive Cluster of the Southeast region of Coahuila (CARSC in Spanish) corroborated the need these systems and others have to enable the continuous improvement of the decisional processes. As such, this research's aim was to develop an evaluation system that enables companies to measure the performance of the logistic processes in the supply chains; but also to improve them in a dynamically according to the variations of the operation context. Two main results were obtained: i) the development of a methodology according to an abductive research approach, to model and simulate supply chains; and ii) the systemic analysis of the key variables to identify the feedback structures between the logistic processes of the supply chain. Validating the results obtained with the application of the system developed was carried out through validation techniques to the structure and performance of the model, and also through a statistic approach of design of experiments (DOE). Although the system was used in a Tier 1 company of the Automotive Cluster of the Southeast region of Coahuila, thanks to the standard logistic processes, it was confirmed that the system proposed can be used in other industries. As future work, the evaluation system will be expanded, integrating other factors that influence the performance of the supply chains in industrial clusters.

Lista de Figuras.

1.1 Cadena de suministro propuesta por Forrester	16
1.2 Representación actual de las cadenas de suministro	17
1.3 Modelo SCOR	20
1.4 Esquema de la metodología de investigación	22
1.5 Organización de la investigación	23
2.1 Estructura geográfica de la industria automotriz	27
2.2 Estructura de los sectores industriales en los últimos años	28
2.3 Comparación del uso de motores a gasolina 2007 vs 2020	31
2.4 Comparación de capacidad instalada ocupada en las ensambladoras de la región del NAFTA 2008 vs 2009	32
2.5 Proveedores de la industria automotriz que se han declarado en quiebra, en el periodo de 1999 a 2009	33
2.6 Industria automotriz Mexicana	35
2.7 Ubicación del Cluster Automotriz de la Región Sureste de Coahuila y su tasa de producción durante el 2008-2009	36
2.8 Principales clusters automotrices de México	37
2.9 Comparación por el índice de producción 2008-2009, de los tres principales clusters automotrices	37
3.1 Enfoque de investigación deductiva	41
3.2 Enfoque de investigación inductiva	41
3.3 Enfoque de investigación abductiva	45
3.4 Metodología de investigación propuesta	46
3.5 Tamaño de la muestra en cada estrato o nivel de proveeduría	47
3.6 Diagrama a bloques del sistema propuesto	52
3.7 Diagrama causal del proceso de distribución	53
3.8 Diagrama causal del proceso de producción	54
3.9 Diagrama causal del proceso de aprovisionamiento	55
3.10 Diagrama de Forrester del proceso de aprovisionamiento	61
3.11 Diagrama de Forrester del proceso de producción	63
3.12 Diagrama de Forrester del proceso de distribución.	65
4.1 Comportamiento del sistema con demanda de cero, en el cliente 1	71
4.2 Simulación del sistema con demanda cero para los tres clientes	72
4.3 Productos que provee CIFUNSA a la industria automotriz	73
4.4 Diseño de la hoja de Excel® para la interacción con el sistema en STELLA	74
4.5 Programación del pedido del cliente 1 y fecha de entrega	75
4.6 Análisis gráfico de la demanda del cliente 1	76
4.7 Análisis detallado del comportamiento del sistema	76
4.8 Subsistema para la evaluación del cumplimiento de las órdenes del cliente	77
4.9 Porcentaje de cumplimiento para las órdenes del cliente 1.	78
4.10 Comportamiento del inventario de materia prima.	78
4.11 Comportamiento de los envíos con un tiempo de ciclo de 10 horas	79

4.12 Cumplimiento del 80% de las órdenes con un tiempo de ciclo de 10 horas.	80
4.13 Comportamiento del sistema con las demandas del cliente 1 y 2	80
4.14 Evaluación del sistema para el cliente 1 y 2	81
4.15 Comportamiento del sistema para el cliente 1 y 2 en horas	82
4.16 ANOVA del diseño de experimentos aplicado al sistema de evaluación	85
4.17 Diagrama a bloques del producto A0022	86
4.18 Diagrama a bloques del producto A0067	87
4.19 Proceso de soplado	88
4.20 Proceso de ensamble.	88
4.21 Procesos de fundición, desmolde y enfriamiento de piezas	89
4.22 Proceso de pintura, maquinado y envío al cliente	89
4.23 Demanda semanal del producto A0022	91
4.24 Comportamiento del sistema simulación con los datos del producto A0022	91
4.25 Interfaz gráfica que permite la interacción con el usuario	92
A.1 Principales proveedores de Magna Intier y su ubicación	112
A.2 Cadena de Suministro de InoPlastic y ubicación de proveedores.	114
A.3 Cadena de Suministro de Tornillos y Partes Totoche y ubicación de proveedores.	116

Lista de Tablas.

2.1 Países líderes en la producción de vehículos en el periodo del 1996 – 2008	32
3.1 Comparación de metodologías para la simulación de cadenas de suministro	49
3.2 Autores y área de investigación en la administración de la cadena de suministro	57
3.3 Principales variables del sistema	60
4.1 Valores iniciales de simulación para evaluar la política extrema (cliente 1)	71
4.2 Valores iniciales para la demanda del cliente 1	75
4.3 Notación para el diseño de experimentos factorial 2^3 .	84
4.4 Resultados obtenidos de la corridas del sistema de evaluación de tres replicas	84

Capítulo I.

Introducción.

1.1. Contexto General de la Investigación.

La industria automotriz es un sector en constante cambio en la innovación de sus productos, debido a la competencia de los fabricantes por un mayor mercado y por las nuevas tendencias en las demandas de los clientes para los próximos años (Deloitte, 2010). La evolución de esta industria también se ve reflejado en sus sistemas de producción, que han pasado de ser “Built to Stock” (*Hacer para Almacenar*) donde la estandarización de los productos era el objetivo principal a “Built to Order” (*Hacer bajo Orden*) que busca darle la mayor satisfacción al cliente al adquirir un vehículo (Meyr, 2004).

La presencia de esta industria en el mundo abarca diferentes países, como Estados Unidos, Japón, Alemania, Francia, Italia entre otras potencias comerciales quienes definen las políticas del desempeño de este sector industrial (Humphrey y Memedovic, 2003). Sin embargo en los últimos años se ha observado un crecimiento en economías emergentes como Corea del Sur, China, India, Brasil, Tailandia y Malasia, los cuales serán referente de este sector en los próximos años (Mukherjee y Sastry, 1996).

En India el sector automotriz tiene una gran importancia por su impacto económico y aunque en la mayoría de las economías emergentes las principales ensambladoras son transnacionales, en este país marcas nacionales como Tata Motors, Maruti Suzuki, Mahindra & Mahindra y Hindustan Motors se han consolidado en los últimos años en el mercado Indio de vehículos ligeros y ahora son competencia directa de las transnacionales (Teknikforetagen, 2008).

China ha sido la economía emergente con el mayor crecimiento de la industria automotriz mundial en los últimos 15 años, ya que pasó de una producción anual de 1, 240, 000 unidades en 1996 a 9, 345, 000 unidades en 2008 lo cual representa un crecimiento del 753% (OICA, 2010; Sturgeon et al, 2009), sobrepasando los índices de producción de países como Francia, Alemania y los Estados Unidos, posicionándose en segundo lugar de producción a nivel mundial sólo por debajo de Japón, de igual manera como mercado de consumo tiene una tendencia creciente, como ejemplo de esto, en el periodo de Enero a Agosto de 2009 se habían vendido 10 millones de unidades en China (Tang, 2009).

La industria automotriz Mexicana representa el 17.3% del PIB Manufacturero Nacional, el 13.4% de los empleos del sector de manufactura y el 21.4% de las exportaciones (INEGI, 2009, AMIA, 2010). Siendo Coahuila el principal productor de autos y camionetas con el 25% de toda la producción nacional (SEFOMECA, 2010). Lo anterior es debido a la ubicación geográfica de México, ya que esta en la región del NAFTA con una participación importante en la producción de vehículos. Sin embargo se está recuperando de la crisis económica que se presentó en el año 2009, al ser Estados Unidos su mayor mercado de exportaciones, sus índices de producción se vieron afectados. De acuerdo a la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA, 2010), se observa una recuperación en los índices de exportación en los primeros meses del año 2010.

Si bien es cierto, que esta industria es referencia en varios aspectos, actualmente esta recuperándose del impacto de la crisis económica mundial que tuvo su mayor impacto a mediados de 2008 y principios de 2009. Tan sólo en México la adquisición de nuevas unidades por parte de los consumidores cayó en diciembre de 2008 un 19.8% (AMIA, 2010). De acuerdo al Sistema de Información del Sector Automotor Mexicano (SISAM, 2009) en los primeros nueve meses del 2008, en México se habían despedido a 15,600 empleados de diversas plantas de autopartes y motores. La Industria Nacional de Autopartes (INA, 2010), reportó que de enero de 2008 a octubre de 2009, esta industria perdió 131,668 empleos lo cual equivale al 23% de la planta laboral. Así mismo, el valor de producción de autopartes fue de 41 mil 500 millones de dólares, lo cual significó una disminución del 29% respecto a lo fabricado en el 2008. Este panorama, ubica la importancia de la industria automotriz en la generación de empleos y en la economía Mexicana.

Sin embargo, el gran reto de la industria automotriz en los próximos años será desarrollar y construir vehículos que cada vez dependan menos de motores a gasolina, ya sean híbridos o eléctricos. Los primeros pasos de esta tendencia se dieron durante el desarrollo de la Cumbre de Rio organizada por la Organización de las Naciones Unidas, en Rio de Janeiro Brasil en 1992, donde se plantearon las responsabilidades de las industrias en el desarrollo de productos que tuvieran un menor impacto sobre el medio ambiente (Sarkis,

2006). Otro reto será desarrollar autos flexibles que se adapten al cada vez más conflictivo tráfico de las grandes ciudades.

Es un hecho que los nuevos retos impactarán a las ensambladoras en el desarrollo de sus estrategias de innovación y sus procesos de producción. De igual manera, quienes se verán afectados directamente en este nuevo contexto, serán los proveedores que conforman sus *cadena de suministro* (Wyman, 2007). De acuerdo a un reporte de la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2005), en la industria automotriz se estima que los proveedores contribuyen con aproximadamente el 75% de una terminada y por cada 10 personas empleadas en el sector del ensamblaje hay casi 30 personas en proveeduría. Así mismo, la dinámica industrial de hoy en día ha puesto de manifiesto que la competencia ya no es entre empresas, sino entre cadenas de suministros (Christopher y Towill, 2001).

Lo antes expuesto, muestra los retos y oportunidades para los próximos años y la importancia de las economías emergentes como elementos estratégicos en el desarrollo competitivo de la industria automotriz. Por lo cual, es importante identificar y desarrollar estrategias que ayuden a enfrentar los retos de esta industria. Una de estas estrategias es la *Administración de la Cadena de Suministro*, que ha demostrado ser factor de éxito en empresas de clase mundial. Sin embargo, en países emergentes no ha sido explorada y desarrollada de manera adecuada, ya que aún se confunden conceptos y se pretende mejorar la competitividad de las empresas realizando mejoras locales y no globales, lo cual limita en cierto grado el desempeño de sus operaciones (Cedillo, Pérez, 2010).

La Administración de las Cadenas de Suministro, requiere de herramientas y sistemas que permitan un enfoque global para entender y comprender las retroalimentaciones que se generan entre los elementos que la integran, por lo que metodologías como la Dinámica de Sistemas (Forrester, 1961), cobran relevancia, permitiendo comprender estas retroalimentaciones y mediante la definición de políticas mejorar las cadenas de suministro.

Debido a la ventaja que ofrece la administración de las cadenas de suministro, es imperante desarrollar proyectos de investigación, como el presente, cuyo objetivo es proponer un sistema de evaluación logística que se

utilice como herramienta para que las empresas la utilicen en la mejora de sus operaciones logísticas.

1.2. Cadenas de Suministro como Factor de Éxito.

La importancia de la Administración de la Cadena de Suministro como factor de éxito, reside en que en toda empresa existen movimientos de materiales, productos, dinero e información que debe ser administrada y controlada desde los proveedores hasta el cliente final, convirtiéndose en un aspecto estratégico para el desempeño y permanencia de las empresas, en un mercado cada vez más globalizado y competitivo (Waters, 2003).

Debido a lo anterior, el estudio de la Cadena de Suministro se ha posicionado en los últimos años como una área de estudio, para investigadores y profesionistas, por sus ventajas como estrategia de competitividad (Gunasekaran et al, 2004).

En la actualidad muchas empresas manufactureras tienen como principal estrategia, la mejora en sus sistemas de producción aplicando metodologías o herramientas como: Justo a Tiempo (JIT), Administración de la Calidad Total (TQM), Manufactura Esbelta (Lean Production), Kaizen, entre otras. La aplicación de estas técnicas y metodologías tienen muy buenos resultados en los procesos de las empresas; sin embargo, la Administración de la Cadena de Suministro para Thomas y Griffin (1996), es el estado más avanzado para la compra, adquisición, producción y distribución de las empresas, debido al involucramiento de proveedores y clientes finales, siendo necesario un análisis más detallado para identificar las retroalimentaciones entre las operaciones logísticas compartidas.

Para algunos investigadores, Jay Forrester (1961), ha sido reconocido como el pionero de lo que actualmente se denomina *Administración de la Cadena de Suministro* (Towill, 1995; Geary et al ,2006), ya que realizó los primeros estudios que estuvieron enfocados a demostrar el fenómeno de la amplificación en las demandas y su impacto en los eslabones que conforman la cadena de suministro, la metodología que utilizó fue la Dinámica de Sistemas, que actualmente es usada en el análisis de sistemas logísticos y de cadenas

de suministro. Sus principales aportaciones de Forrester, con el desarrollo y aplicación de esta metodología, fueron la representación de retardos de información y la retroalimentación entre los elementos; además sentó las bases para analizar la cadena desde un enfoque sistémico.

El primer sistema propuesto por Forrester para el análisis de una cadena de suministro, estuvo integrada por cuatro niveles (figura 1.1): *fábrica, almacén de la fábrica, el distribuidor y el minorista*. El análisis se centraba principalmente en un solo producto. Una vez que se recibían las ordenes por parte del cliente, estas tenían un retardo de tiempo en cada nivel, debido a que se hacían los requerimientos en base a estas ordenes. Ya manufacturado el producto se enviaba al almacén de la fábrica, de ahí al distribuidor para que posteriormente fueran entregados al minorista. Un elemento clave en todo el proceso del análisis realizado por Forrester, eran los inventarios que se encuentran en tres de los niveles, ya que eran los mayormente afectados por la retroalimentación y los retardos de tiempo.

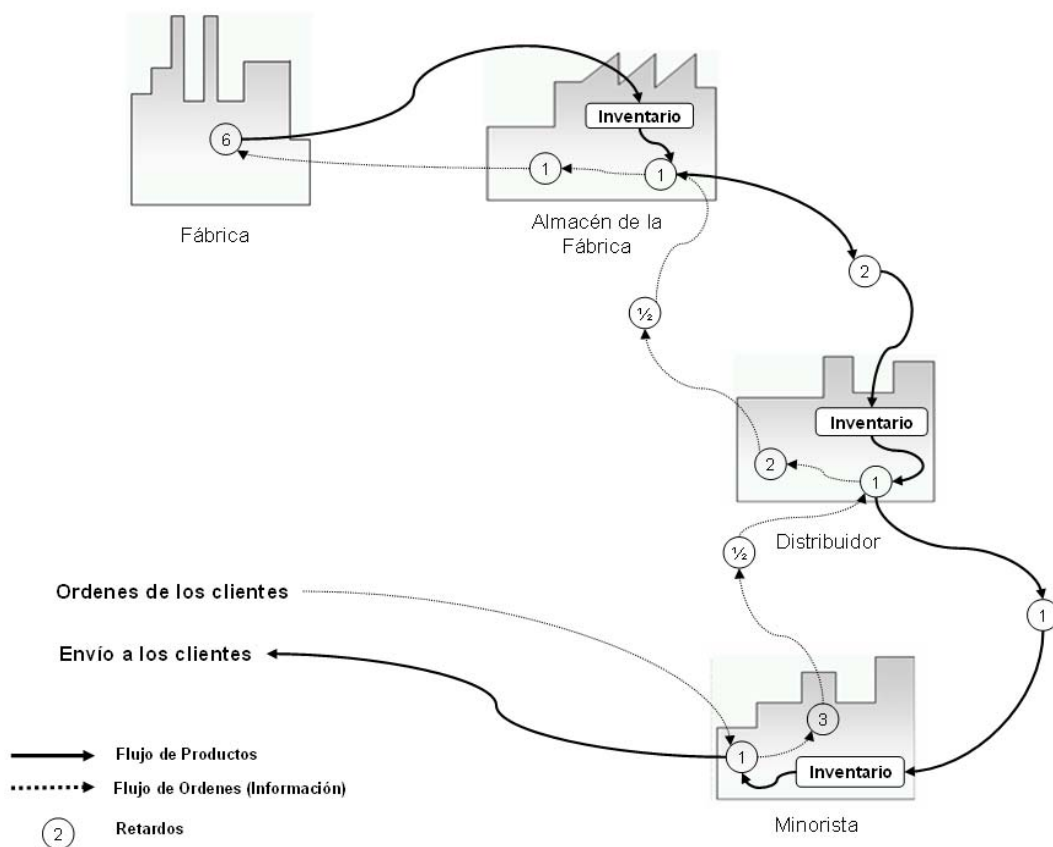


Figura 1.1. Cadena de suministro propuesta por Forrester. (Fuente: Forrester, 1961)

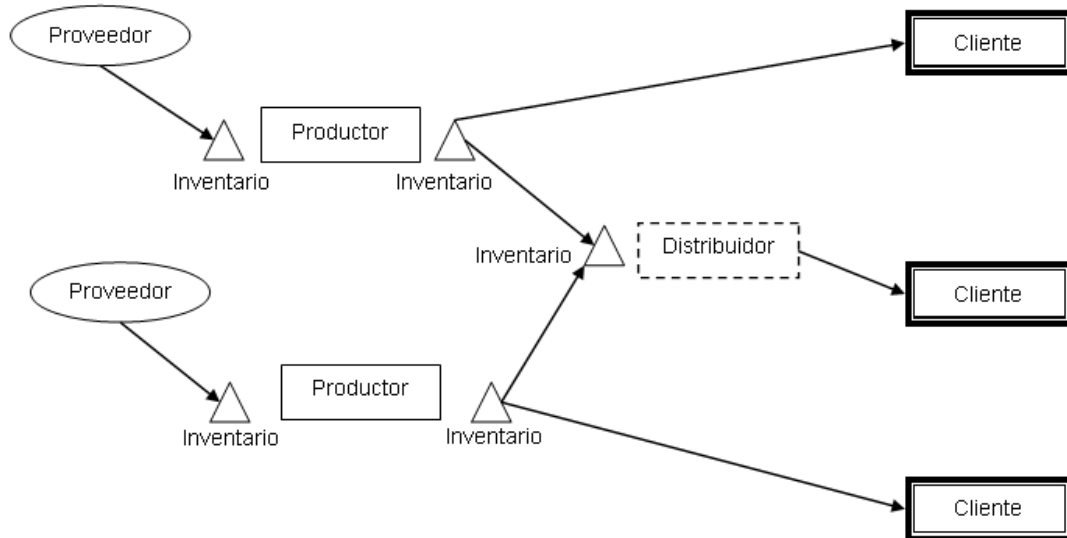


Figura 1.2. Representación actual de las cadenas de suministro.
(Fuente: Lee y Billington, 1995)

La representación actual de las cadenas de suministro es mediante una interrelación de elementos en varios niveles. Lee y Billington (1995), definen a la cadena de suministro como aquella que incluye todas las interacciones entre proveedores de materia prima, fabricantes, distribuidores, transportistas y clientes (figura 1.2).

Parte fundamental para analizar el desempeño de las cadenas de suministro, son los indicadores clave, que ayuden en la evaluación del desempeño de las cadenas de suministro (Beamon, 1999, Lapide, 2000; Huang et al, 2005; ODETTE, 2009).

Por todo lo anterior y para conocer e identificar los estudios que se han realizado sobre la administración de la cadena de suministro, se hizo una extensa revisión bibliográfica. A continuación se muestra una breve descripción de sólo algunos trabajos que sirvieron de referencia en el desarrollo de esta investigación:

- *Jay Forrester (1961)*: Es considerado el pionero del estudio formal de las cadenas de suministro actuales, además es el creador de la metodología de Dinámica de Sistemas que permite el analizar sistemas complejos. Mediante la utilización de esta metodología identificó que el retraso de información y los lazos de retroalimentación entre los elementos que

componen una cadena de suministro, originaban lo que él llamo *efecto de amplificación*; el cual se produce cuando una pequeña variación en la demanda origina un desajuste (incremento) en los inventarios de los elementos de una cadena de suministro. En la actualidad, este efecto se conoce como efecto látigo (Bullwhip Effect) y sigue siendo estudiado por diferentes investigadores.

- *Mukherjee y Sastry (1996)*: Presentan un panorama del crecimiento de la industria automotriz en países emergentes como Corea del Sur, Brasil, China y la India, identificando que las políticas gubernamentales tienen un papel importante en el desarrollo de esta industria. Sin embargo, de acuerdo a estudios recientes (ATKearney, 2009), la industria automotriz Mexicana será parte importante en el desarrollo global de las empresas automotrices. Debido a esto, este artículo pone de manifiesto que México siendo un país con gran potencial en la industria automotriz, se deben realizar investigaciones encaminadas a identificar las estructuras de las cadenas de suministro automotriz en México y específicamente en las regiones donde esta industria tiene presencia.
- *Jiménez y Hernández (2002)*: Los autores identifican las relaciones que se generan entre los sistemas de producción y los mecanismos logísticos que utilizan las empresas en el desempeño de las cadenas de suministro. Así mismo, identifican el aprovisionamiento, las relaciones de colaboración, el transporte y los indicadores de desempeño como los elementos estratégicos y de éxito en la administración de las cadenas de suministro. Sobresale de este estudio, la propuesta de los autores de emplear un enfoque sistémico que ayude en la toma de decisiones en las cadenas de suministro.
- *Umeda y Jain (2004)*: Describen los requerimientos que debe contener un simulador de cadenas de suministro, cuya actividad principal sea la producción. Los puntos que se describen son (1) identificación de los problemas de operación, (2) estrategias de operación en las cadenas de suministro y (3) requerimientos en el diseño de un simulador genérico de cadenas de suministro.

- *Bhatnagar y Sohal (2005)*: Su investigación muestra los factores que afectan la competitividad de las cadenas de suministro *en una región*, siendo los principales *el costo* (mano de obra, servicios de negocios, transporte, etc); *la infraestructura* (disponibilidad de terreno, energía e infraestructura carretera); *mano de obra* (con habilidades, nivel educativo para diferentes actividades desde operadores hasta administradores); *políticas gubernamentales* (estabilidad política, protección a las inversiones extranjeras, eficiencia y transparencia) y finalmente los *proveedores* (Disponibilidad y proximidad con los proveedores).
- *Größler y Schieritz (2005)*: Para estos autores, la simulación ofrece un punto medio entre la modelación formal pura, observaciones empíricas y la experimentación, que puede aplicarse en investigaciones que se realicen sobre cadenas de suministro. Además, el enfoque de simulación ofrece la posibilidad de incluir estimaciones que no son fáciles de medir, como son los factores “suaves”, los cuales permiten aproximar un modelo de simulación a la realidad que se desea analizar, similar a las investigaciones empíricas. Identifican a la Dinámica de Sistemas y la Modelación Basada en Agentes, como dos de los enfoques que se han utilizado en la simulación de cadenas de suministro; así como la combinación de ambas.
- *Supply Chain Council (2010)*: La principal aportación del Consejo de Cadena de Suministros es el modelo SCOR (*Supply-Chain Operations Reference-model*, por sus siglas en inglés), que fue propuesto por primera vez en 1996 y que actualmente es empleado como modelo de referencia en los procesos de negocio y de la cadena de suministro. Este modelo tiene sus fortalezas en los procesos y las métricas que pueden ser utilizados para el evaluar el desempeño de las cadenas de suministro. El modelo SCOR identifica cinco procesos que deben ser administrados (figura 1.3), estos son: Plan, Aprovechamiento, Producción, Entrega y Retorno.

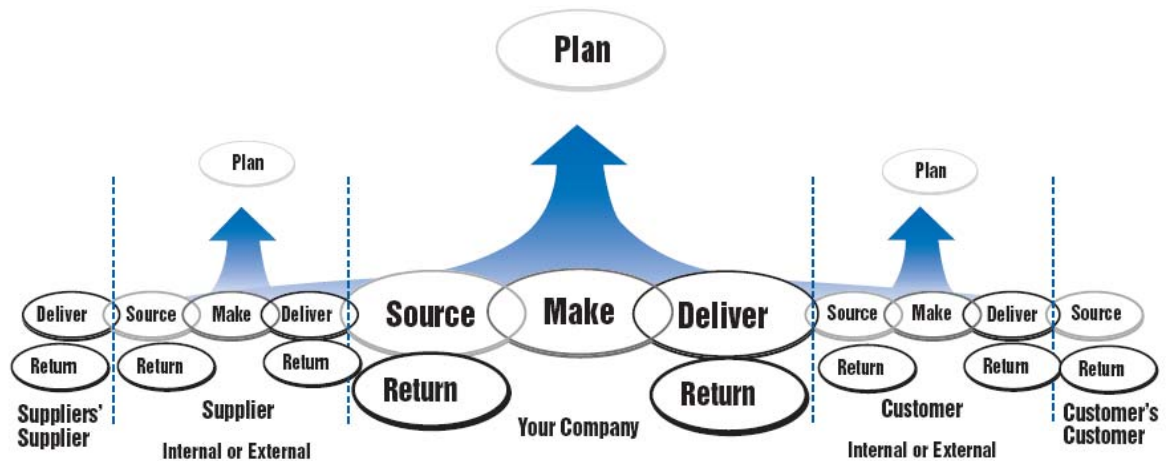


Figura 1.3. Modelo SCOR. (Fuente: Supply Chain Council, 2010)

1.3. Definición del Problema y Justificación.

La región Sureste de Coahuila, específicamente los municipios de Saltillo y Ramos Arizpe, son considerados como el Cluster Automotriz del estado de Coahuila. Debido a la cantidad de proveedores que hay en la región, se creó el CIDIAC (Centro de Investigación para el Desarrollo de la Industria Automotriz de Coahuila) como una iniciativa de las dos ensambladoras y algunos de sus principales proveedores, así como centros de investigación como COMIMSA y gobierno del estado de Coahuila, cuya función principal era la de servir como integrador entre las necesidades de las dos ensambladoras (General Motors y Chrysler) y los proveedores que se encuentran ubicados en la región.

Una de las principales necesidades tanto de los ensambladores como los proveedores de primer nivel, es contar una proveeduría regional (segundo, tercer y cuarto nivel) debido a que los tiempos de entrega para este sector industrial son importantes, y la mayoría de los productos o servicios son del exterior de la región o de otras zonas del país. Este análisis fue realizado por CIDIAC y confirmado en la investigación de campo durante el desarrollo de las entrevistas que se efectuaron a proveedores de la región. Así mismo, el director de compras de General Motors, Randal Pappal en su intervención durante el Auto Show Coahuila 2010 (SEFOMECA, 2010), comentó que una área de oportunidad en este sector, es el desarrollo de la proveeduría regional.

Una de las razones por las cuales la proveeduría local no se integra a las cadenas de suministro automotrices locales, es que no tiene acceso a herramientas o sistemas que permitan evaluar sus procesos logísticos, que son parte fundamental de las cadenas de suministro y con base en los resultados, definir las estrategias para la mejora de sus procesos.

Una vez detectada esta necesidad de la proveeduría local, por parte de CIDIAC y las empresas entrevistadas, COMIMSA involucrada en el desarrollo de iniciativas que mejoren la competitividad de las empresas de la región, apoyo la presente investigación para desarrollar un *Sistema Dinámico de Evaluación Logística*, que permita a las empresas regionales evaluarse respecto a las demandas de la industria automotriz y en base a los resultados detectar sus áreas de oportunidad.

El estudio de las cadenas de suministro, ha sido analizada en diferentes investigaciones, por la académica y consultoras en los últimos años. Sin embargo, la línea de investigación la simulación de cadenas de suministro, es un área de oportunidad donde se pueden realizar investigaciones al respecto (Seuring et al, 2005).

Es por lo anterior, que el Sistema Dinámico de Evaluación Logística, se desarrolla en la línea de investigación de modelación y simulación de cadenas de suministro, centrando su análisis, validación y aplicación, a la industria automotriz de las economías emergentes.

1.4. Enfoque de Investigación y Metodología.

El enfoque de investigación abductiva fue seleccionada para desarrollar el presente trabajo, debido a que se genera un nuevo conocimiento que es resultado de la retroalimentación directa entre la información teórica y la información de campo. Para algunos autores, este enfoque es conocido como la creatividad sistematizada o intuición en la investigación (Taylor et al, 2002).

La metodología de investigación utilizada, se desarrolló en tres etapas (figura 1.4), la primera etapa consistió en el desarrollo del sistema. La segunda etapa fue la validación del sistema en una empresa de la región, con actividades importantes en cadenas de suministro automotriz y la tercera etapa consistió en la validación del sistema y el análisis de resultados.

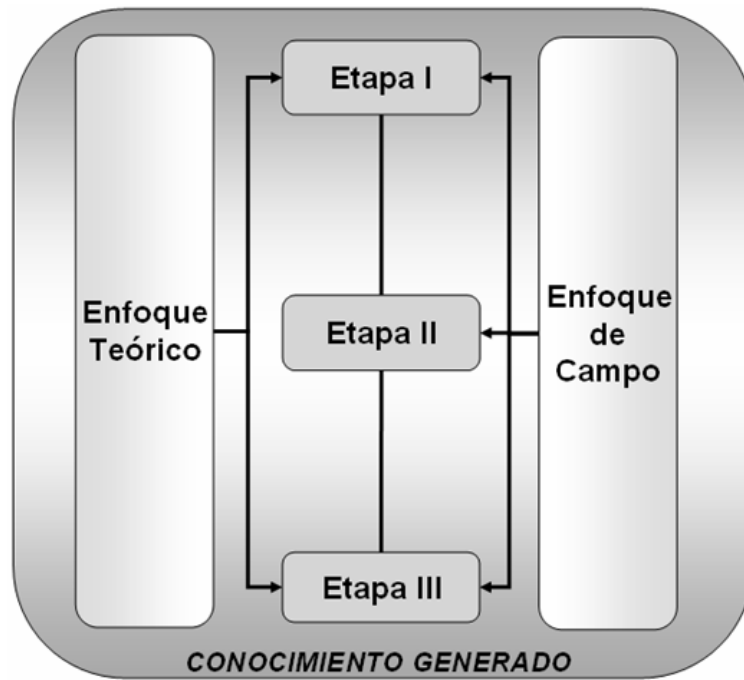


Figura 1.4. Esquema de la metodología de investigación. (Elaboración propia).

De la revisión bibliográfica realizada, el área de oportunidad fue la simulación de cadenas de suministro, debido a que es un tópico con gran potencial para el entendimiento, análisis y mejora del desempeño de las cadenas de suministro. De acuerdo a Banks (1999), la simulación es la imitación de la operación de un proceso o sistema del mundo real; para Ingalls (2008), la simulación puede ser una herramienta poderosa si es entendida y usada adecuadamente.

Para el análisis de las Cadenas de Suministro, se están utilizando diferentes enfoques de simulación entre los que destacan la Dinámica de Sistemas (*System Dynamics*) y la Modelación Basada en Agentes (*Agent-Based Modeling*). Por su parte la Modelación de Eventos Discretos (*Discrete Event Simulations*) tiene gran auge en la modelación de procesos de manufactura.

La modelación matemática como enfoque para el análisis de las cadenas de suministro, frecuentemente se restringe a la relación cliente-proveedor y requiere de varias suposiciones debido a la complejidad matemática; por lo que la *simulación* representa una perspectiva intermedia entre la modelación formal y las observaciones empíricas.

Panurak et al (1998), comentan que parte de los programas de computo para analizar la Cadena de Suministro, se han desarrollado usando *Dinámica de Sistemas (System Dynamics)*, la cual tiene sus bases matemáticas en las ecuaciones diferenciales ordinarias. Por su parte la *Modelación Basada en Agentes (Agent-Based Modeling)*, se basa principalmente en reglas individuales en que se programa en cada agente.

Debido a la complejidad de las variables que se querían analizar en el sistema de evaluación logística, se seleccionó la metodología de *Dinámica de Sistemas*.

Las principales herramientas de la Dinámica de Sistemas son los diagrama causales o de Influencias y los diagramas de “tuberías” o de Forrester (Giaglis, 2001). El objetivo de estos diagramas es explicar los sistemas mentales y la estructura del sistema mediante las retroalimentaciones entre las variables del sistema, estas retroalimentación determinan en gran medida el comportamiento del sistema a través del tiempo (Tako y Robinson, 2008). La Dinámica de Sistemas, además de aplicarse en la simulación de Cadenas de Suministro, se ha utilizado en la simulación de sistemas ecológicos, sociológicos, económicos, gubernamentales, políticas corporativas entre muchos otros (Sweeter, 1999).

Autores como Towill (1996); Barlas y Aksogan (1996); Angerhofer y Angelides (2000); Sterman (2000), Georgiadis et al, (2005); Kamath y Roy (2007), sólo por mencionar algunos, han realizando diferentes investigaciones sobre estrategias en la Cadena de Suministro, teniendo como enfoque de análisis la simulación con Dinámica de Sistemas.

1.5. Organización de la Investigación.

La presente investigación esta organizada en cinco capítulos (ver figura 1.5). El capítulo II, describe la estructura e importancia de la industria automotriz en la economía mundial, identificando las nuevas tendencias, la importancia de las ensambladoras y proveedores y se define el alcance de la investigación. En el capítulo III, se detalla la metodología de investigación utilizada. El capítulo IV, detalla la aplicación del sistema a una empresa de primer nivel que es proveedora de cadenas de suministro automotriz, así como los métodos de

evaluación y validación del sistema. Finalmente en el capítulo V, se detallan las conclusiones de la investigación y el trabajo futuro.

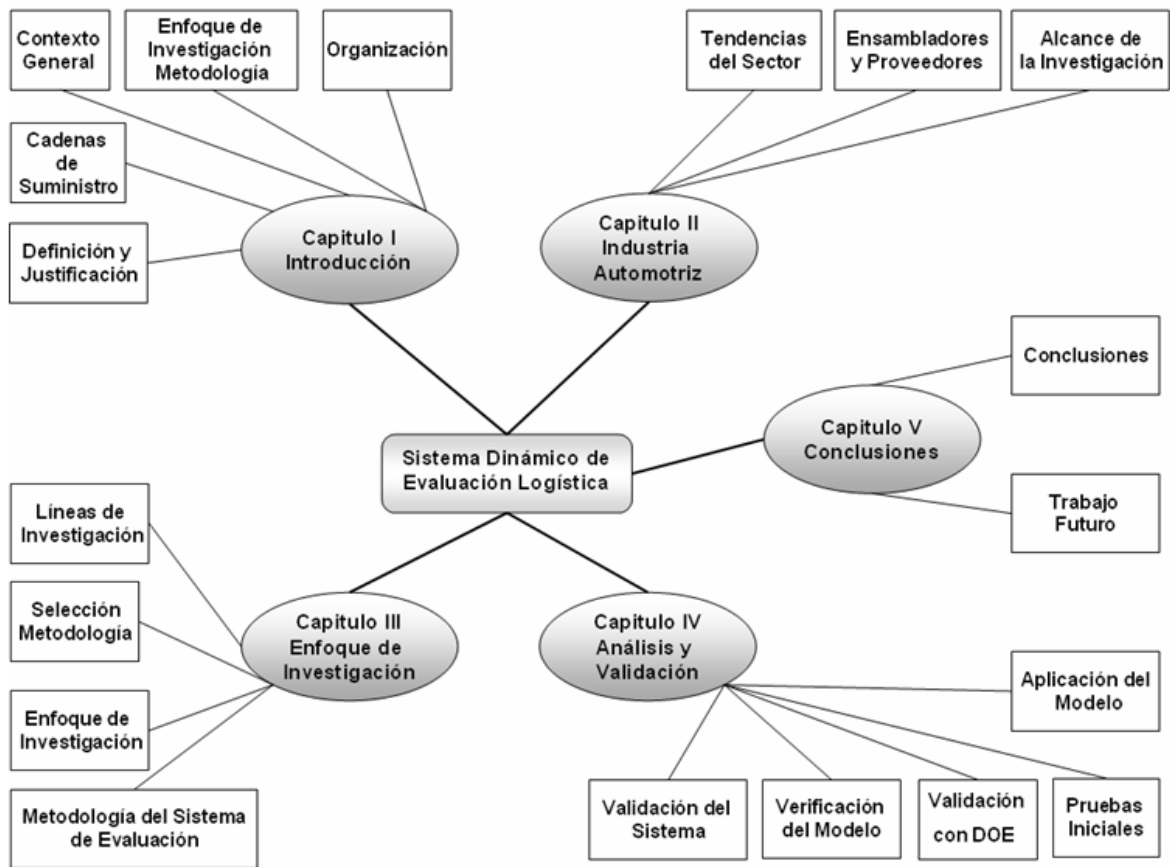


Figura 1.5. Organización de la investigación. (Elaboración propia).

Capítulo 2.

Industria Automotriz y Cadenas de Suministro

2.1 Introducción.

El sector automotriz se distingue de otros sistemas industriales por tener una estructura altamente concentrada, esto es, existen un pequeño grupo de grandes empresas que ejercen gran influencia en sus proveedores. Otra característica distintiva de esta industria es la globalización que ha tenido en sus operaciones debido a la demanda del mercado, por lo que se han construido plantas ensambladoras cerca del mercado al que proveen. Esto ha generado que las regiones donde se instalan se vuelvan especializadas y se puedan integrar a la competencia internacional (Sturgeon et al, 2009).

Por otro parte, los proveedores son parte fundamental en el desarrollo de las ensambladoras, ya que éstas pueden ofrecer diferentes productos o alternativas en la variación de los sistemas o en casos específicos convertirse en la ensambladoras, como es el caso de Magna en su Planta de Graz, Austria, donde este proveedor construye el sistema 300C y la Jeep Commander para Chrysler (Portal Automotriz, 2009).

La geografía económica de la industria automotriz ha ocasionado que las cadenas de valor locales, nacionales y regionales de la industria automotriz se encuentren “entrelazadas” en las estructuras globales y de las empresas líderes (figura 2.1). Así mismo, esta industria ha tenido grandes avances en los últimos años que se han visto reflejados en la creación de nuevos estándares de calidad, los cuales han influido para que los vehículos sean más confiables y la tecnología que emplean este a la vanguardia. Estos estándares de igual manera han mejorado el ambiente de trabajo, el cual paso de ser un lugar “oscuro, sucio y peligroso” a un ambiente en el cual las operaciones se pueden hacer con mayor seguridad y productividad.

Aunque se han realizado estas acciones, la industria automotriz presenta un panorama adverso, debido principalmente a la crisis económica que se presentó en el año 2008-2009 y que afectó a las principales economías del mundo y esto a su vez a la confianza de los consumidores en la adquisición de nuevos vehículos. Además, antes de este colapso financiero las presiones competitivas del mercado (calidad, precio y rendimiento), tenían en constante dinamismo la competencia entre las ensambladoras por ser la mejor (Deloitte, 2010).

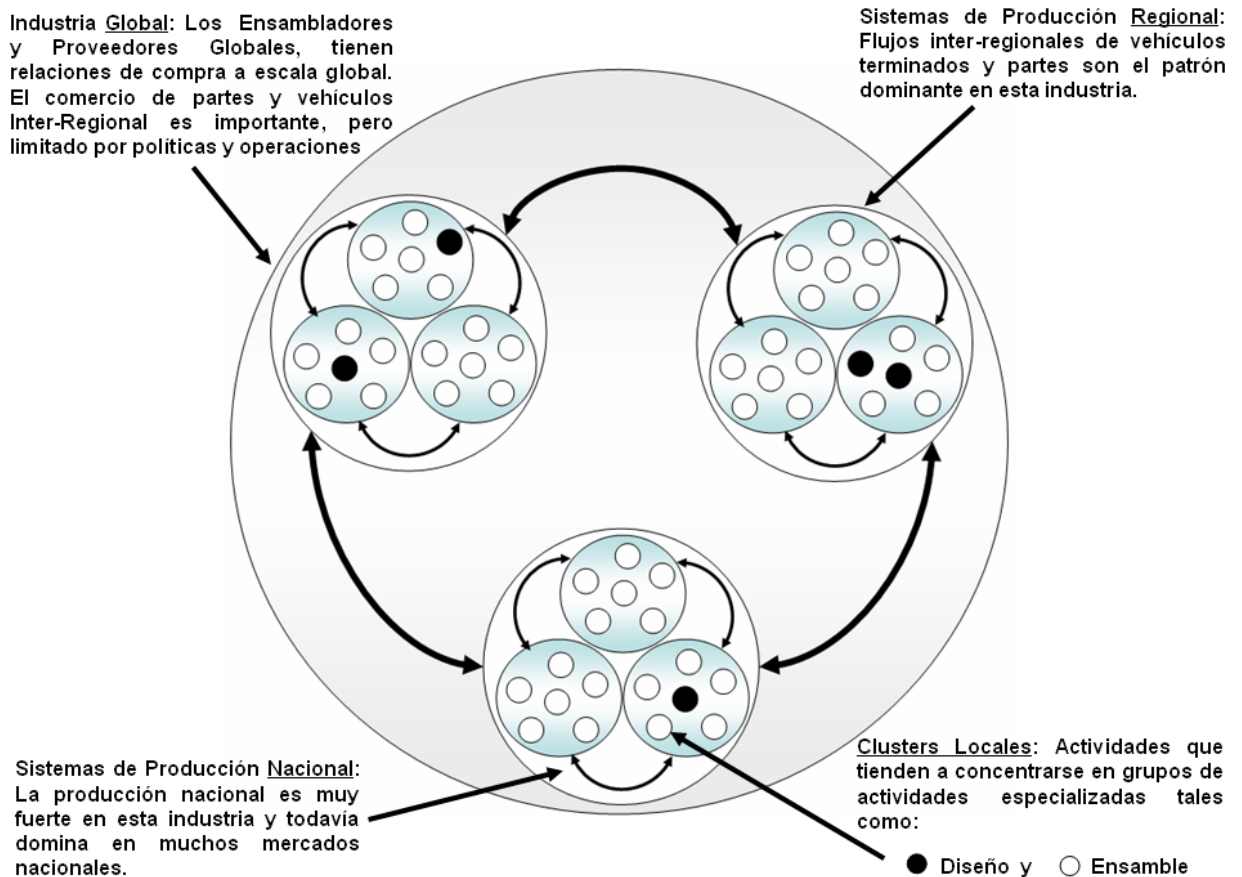


Figura 2.1. Estructura geográfica de la industria automotriz. (Fuente: Sturgeon et al, 2007).

Para Bechamann y Scherk (2010), la crisis mundial impactó a la industria automotriz, en tres puntos:

1. La disminución de la demanda del mercado global
2. El exceso de capacidad de producción, y
3. La volatilidad en los precios de materia prima

Sin embargo, las ensambladoras no fueron las únicas afectadas con la crisis económica, debido a la estrecha relación con sus proveedores, estos también fueron impactados con la disminución de la demanda por parte de los consumidores, lo que ocasionó un efecto látigo que se propagó a todos los eslabones de la cadena.

Si bien el panorama parece adverso, de acuerdo a especialistas, en el año 2010 (ATKearney, 2009), la industria automotriz retomará nuevamente el liderazgo en el escenario mundial de los sectores industriales (ver figura 2.2),

debido a las nuevas tendencias y a la creación de nuevas tecnologías e innovaciones en la construcción de los vehículos, como es la utilización de motores eléctricos o híbridos en el ensamble de las nuevas unidades.

La OIT (2005), en su estudio relacionado a las nuevas tendencias de la industria automotriz y sus efectos en sus proveedores, ya pronosticaba un cambio que afectaría a la cadena de suministro, debido al cambio de componentes mecánicos por componentes eléctricos en los nuevos diseños de vehículos y hacía énfasis en que los proveedores que reaccionarán y se ajustarán rápidamente a estas nuevas tendencias, sería los que estarían vigentes en el mercado.

Por todo lo anterior, es necesario que empresas que forman parte de las cadenas de suministro automotriz, conozcan e implementen herramientas que les permitan analizar los diferentes escenarios como los antes descritos y en base a los resultados, definan las mejores políticas que les ayuden a una mejor toma de decisiones respecto a su desempeño en la cadena.

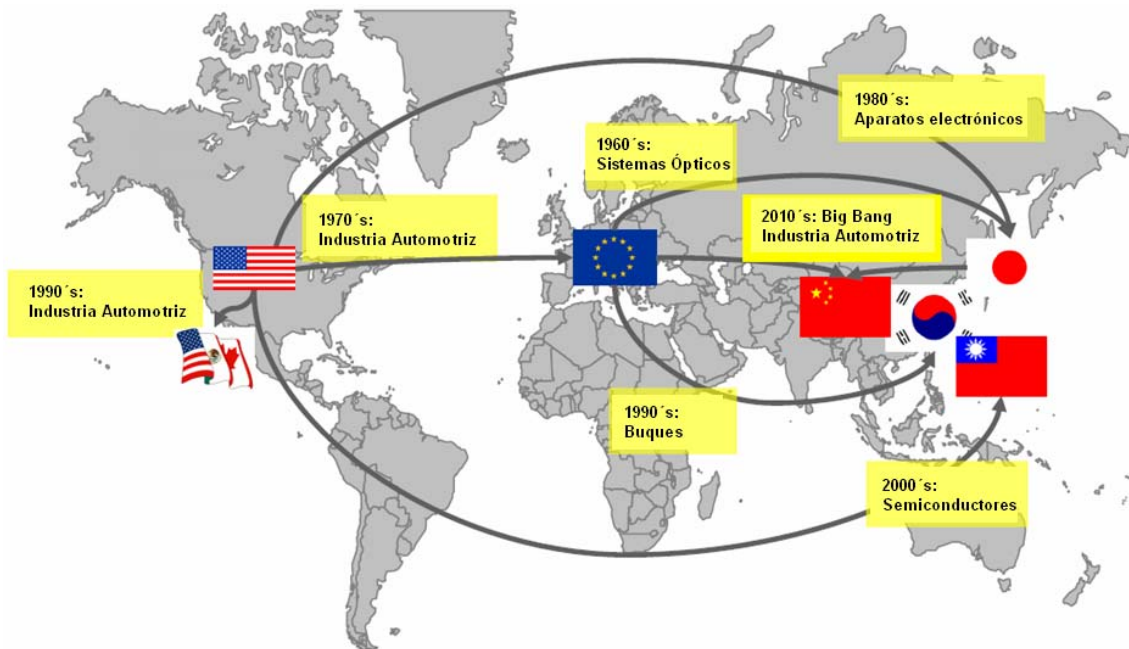


Figura 2.2. Estructura de los sectores industriales en los últimos años (Fuente: ATKearney, 2009).

2.2 Tendencias de la Industria Automotriz

Para Yves van der Straaten secretario general de la OICA (*Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles*), la industria automotriz esta en el liderazgo de la Investigación y Desarrollo (R&D), ya que invierte millones de Euros cada año en la investigación para mejorar tecnologías existentes y desarrollar nuevas como son los vehículos híbridos que utilizan combustibles alternos como el gas natural, biocombustibles, hidrógeno, entre otros (Sturgeon et al, 2009).

Una de las tendencias de la industria automotriz, es que con el objetivo de ofrecer rápidamente vehículos al mercado, algunas ensambladoras están utilizando plataformas en el desarrollo de sus vehículos. Estas plataformas generalmente incluyen el chasis, partes de suspensión, motores, transmisiones, y sistemas de freno, las cuales son utilizadas en una familia de vehículos que produce la ensambladora (Weber, 2009).

De acuerdo al estudio realizado por Deloitte (2010), se tienen identificadas las siete tendencias que marcarán las preferencias de los consumidores a nivel mundial, en la adquisición de autos en los próximos 10 años (año 2020) y que son las que definirán las bases para el desarrollo, fabricación y comercialización de vehículos. Estas incluyen:

1. **Consumo responsable.** Darle mayor énfasis al valor del auto que se esta adquiriendo. La crisis económica impacto en el comportamiento de los consumidores por lo que buscarán autos con mayor seguridad y más pequeños en lugar de SUV (*Sport Utility Vehicle*).
2. **Poder de compra.** Los mercados emergentes serán un mercado con mayor poder adquisitivo, por lo que las marcas deberán idear estrategias para posicionarse en estos mercados como la tropicalización de sus productos.
3. **“Movimiento verde”.** En este punto la pregunta es ¿Costo o conciencia ecológica?. Los precios del combustible y el calentamiento global han centrado los esfuerzos de las ensambladoras por desarrollar autos que dependan menos del combustibles fósiles y más de energías alternas o renovables, pero el costo aún es elevado por lo que el desafío de las ensambladoras será ofrecer estas tecnologías a bajo costo.

4. **Seguridad.** Aunque las tecnologías en el diseño avanzan, la seguridad en los vehículos seguirá siendo una de las principales necesidades de los clientes y de los factores de compra por parte de los consumidores, por lo que los ensambladores buscarán ofrecer mejores dispositivos de seguridad al vehículo, como retrovisores sin ángulo muerto y materiales más resistentes y livianos.
5. **Conectividad.** El estar conectado en línea, también es una forma de seguridad ya que en caso de algún accidente o percance se enviaría una notificación para la asistencia de emergencia; otra opción sería tener acceso a dispositivos como GPS que ayudaría en cuestiones de tráfico y radio satelital (entretenimiento).
6. **La Web (Red).** El Internet desempeñará un papel muy importante en los próximos años, en lo que se refiere a la venta de vehículos, por lo que las estrategias de mercado deberán considerarla.
7. **Cambio de Preferencias y Urbanización.** – Parte del mercado para el año 2020 será población de edad avanzada y sus preferencias deberán ser atendidas, especialmente lo referente a dispositivos que les brinden mayor seguridad al conducir. Así mismo, la urbanización en los países desarrollados será una tendencia en los próximos años, lo cual implicará mayor tráfico y congestionamiento. Las ensambladores deberán hacer autos más flexibles y pequeños que se ajusten a estas condiciones.

Por su parte ATKearney (2009), identificó que en el año 2007 aproximadamente el 20% de los autos que circulaban en el mundo tenían instalado un motor diesel, mientras que el 80% eran de consumo a gasolina. Sin embargo, sus pronósticos es que estas tendencias se reviertan con el uso de motores eléctricos e híbridos. Por ejemplo, en el año 2020 se espera que en el continente Americano (ver figura 2.3), los autos con motores a gasolina sea del 46%, 18% sean híbridos, 14% a diesel, 12 % gas natural y el 9% sean eléctricos. Este escenario representa un reto para la industria automotriz pero también oportunidades tanto para los ensambladores como para los proveedores, sobre todo en lo referente al desarrollo de motores y dispositivos eléctricos.

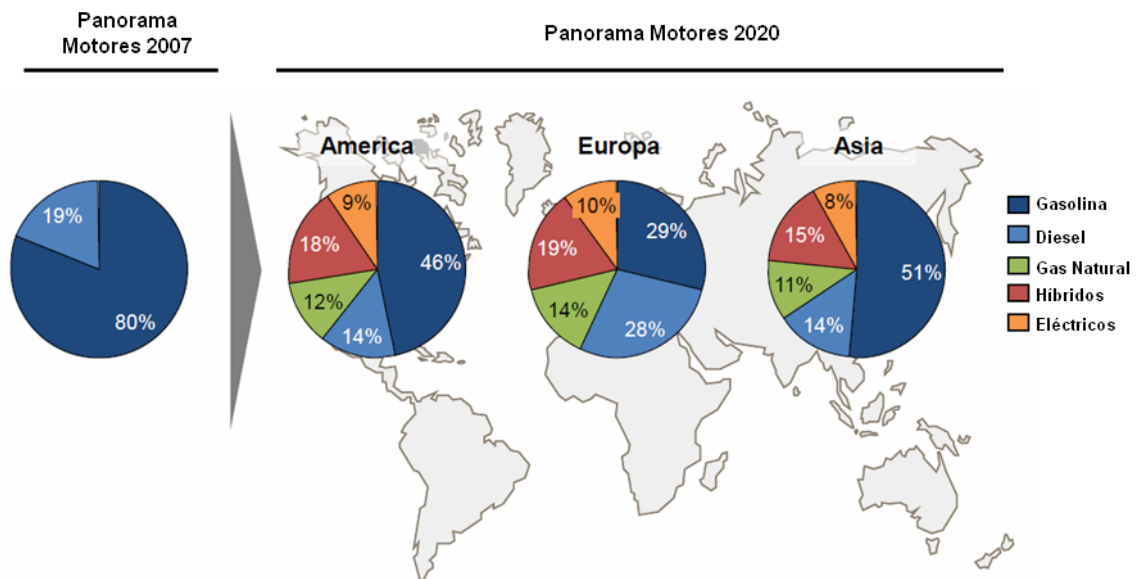


Figura 2.3. Comparación en el uso de motores a gasolina 2007 vs 2020. (Fuente: ATKearney, 2009).

2.3 Ensambladoras y Proveedores

El panorama económico mundial y la dinámica de los mercados están generando cambios en la industria automotriz que serán la base de su crecimiento y desempeño en el futuro. Así mismo, países como China tendrán un papel preponderante en los siguientes años en lo que se refiere a la producción de vehículos. Este país en el año de 1996 tenía una producción anual de 1, 240, 000 unidades y para el año 2008 su producción anual fue de 9, 345,000 unidades como lo muestran las estadísticas (ver tabla 2.1). Los datos lo posicionan entre los principales productores junto a países como Japón, Alemania y los Estados Unidos que son los que lideran este sector (OICA, 2010; Sturgeon et al, 2009).

En el año 2009 debido a la crisis económica la industria automotriz tuvo un colapso que afectó a las ensambladoras en su capacidad instalada. Por ejemplo, las ensambladoras ubicadas en la región del NAFTA (Deloitte, 2010), la totalidad de las ensambladoras tuvieron un descenso en su capacidad, siendo Honda la más afectada ya que de una ocupación del 100% de su capacidad en el 2008 pasó a sólo el 48% de la misma en el 2009 (figura 2.4).

Tabla 2.1. Países líderes en la producción de vehículos en el periodo de 1996 – 2008. Cifras dadas en miles de unidades. (Adaptación propia. Fuentes: OICA, 2010; Sturgeon et al, 2009).

País	Periodo						
	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008
China	1,240	1,628	2,009	3,251	5,071	7,272	9,345
India	541	535	867	892	1,511	1,876	2,314
Corea	2,354	1,787	2,858	3,148	3,469	3,840	3,806
Francia	2,359	2,923	3,352	3,693	3,666	3,164	2,568
Brasil	1,813	1,547	1,671	1,793	2,210	2,597	3,220
México	1,222	1,460	1,923	1,805	1,555	2,043	2,191
Rusia	1,029	1,021	1,203	1,220	1,388	1,495	1,790
Alemania	4,843	5,727	5,527	5,145	5,570	5,818	6,040
España	2,412	2,826	3,033	2,855	3,012	2,776	2,541
Canadá	2,397	2,570	2,962	2,629	2,712	2,544	2,077
Japón	10,346	10,050	10,141	10,258	10,512	11,484	11,563
EUA	11,832	12,003	12,774	12,280	11,988	11,351	8,705
Reino Unido	1,924	1,976	1,814	1,821	1,856	1,650	1,649
Italia	1,545	1,693	1,738	1,427	1,142	1,212	1,023

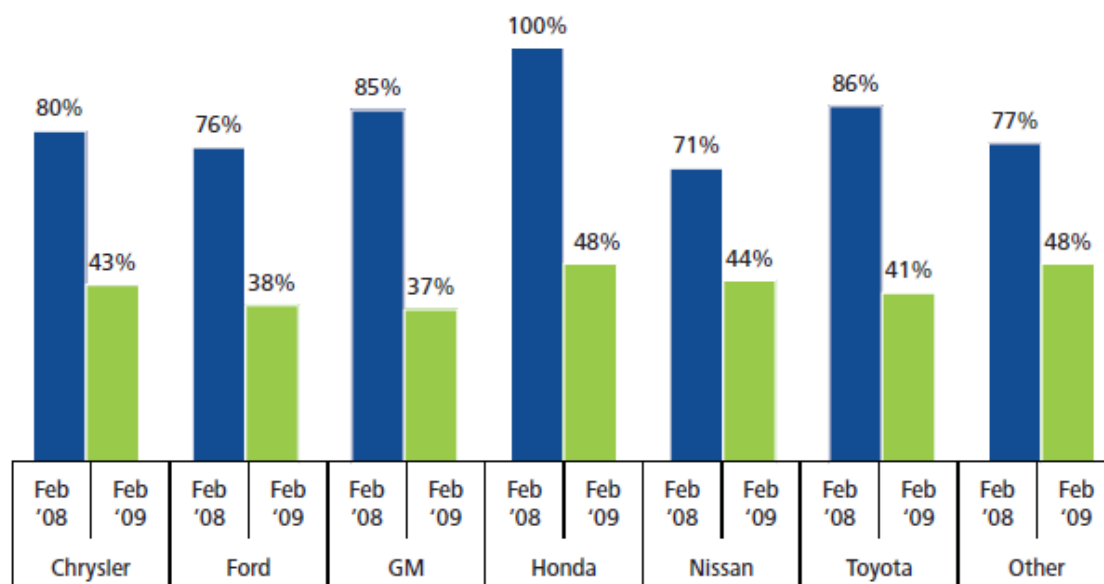


Figura 2.4. Comparación de capacidad instalada ocupada en las ensambladoras de la región del NAFTA 2008 vs 2009 (Fuente: Deloitte, 2010)

Sin embargo, no sólo los ensambladores tuvieron un impacto negativo en sus operaciones, sino también sus proveedores (cadena de suministro). De acuerdo a la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2005), por cada 10 empleados contratados en la industria del ensamble automotriz hay 30 empleados en la industria de la proveeduría. La industria de la proveeduría son responsables del 70% de los componentes que se emplean en la construcción de un vehículo, que son aproximadamente más de 30,000 piezas.

De acuerdo a Korth (2009), de 1999 a 2009 se han dado quiebras en grandes proveedores internacionales de la industria automotriz resultado de que los ensambladores exigen reducción de costos en las autopartes que consumen, pero también por la crisis económica mundial que afecto a este sector. Debido a que las ensambladoras Japonesas realizan alianzas a largo plazo con sus proveedores y que las apoyan en su desarrollo y desempeño, en la figura 2.5 no figuran proveedoras japonesas que se hayan ido a la quiebra, lo cual es una forma de proteger a esta industria.

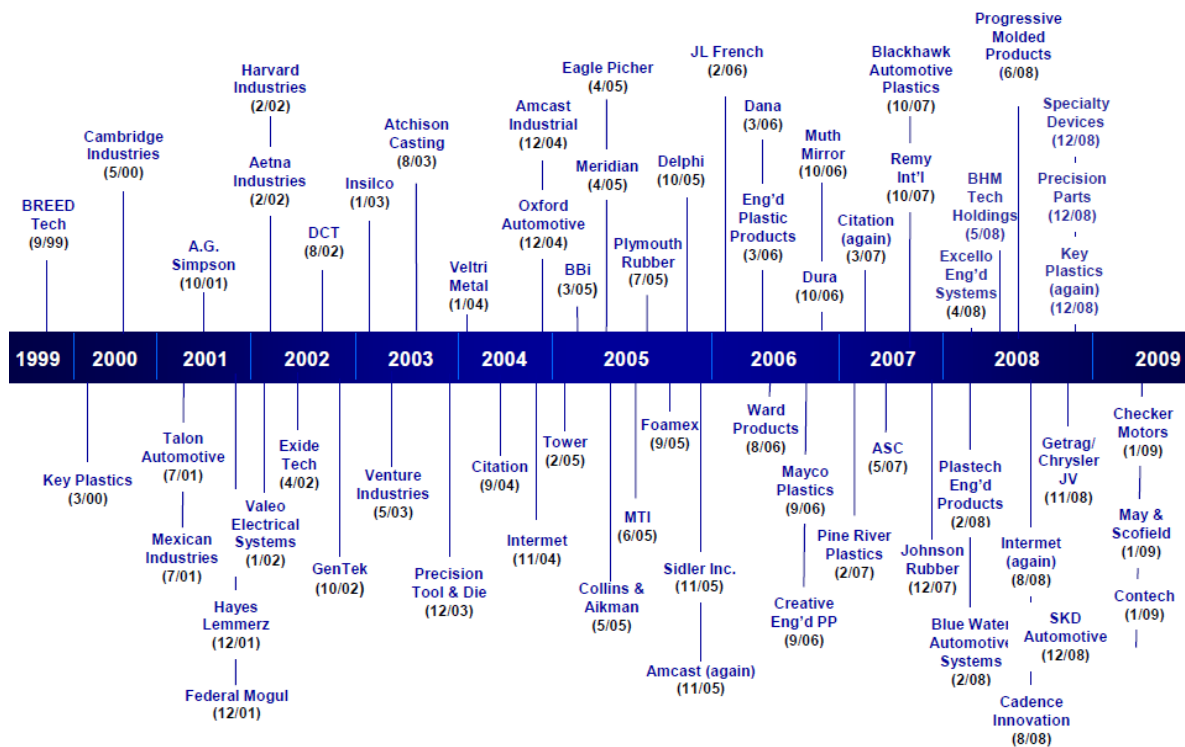


Figura 2.5. Proveedores de la industria automotriz que se han declarado en quiebra, en el periodo de 1999 a 2009 (Fuente: Korth, 2009).

Los proveedores, parte fundamental de la cadena de suministro automotriz se enfrentarán en los próximos años a diferentes retos (IRN Inc, 2009):

- Incertidumbre sobre el futuro de las tres grandes (The Big Three)
- Impactos en cierres o fusiones de plantas ensambladoras
- Variaciones en las demandas de producción
- Mejorar sus procesos de producción (Lean Manufacturing)
- Capital laboral flexible y con nuevos conocimientos y habilidades

Los puntos anteriores dan un panorama de la importancia que tendrán los proveedores, pero también de los retos, por lo que será importante que estén preparadas con estrategias que les permitan analizar de forma global la situación y puedan tomar las mejores decisiones. En este punto, el enfoque sistémico es apropiado como metodología de apoyo.

2.3.1 Industria Automotriz Mexicana

México ocupó en el 2008 la décima posición como productor de vehículos ligeros (OICA, 2010; Sturgeon et al, 2009), con una producción de 2,191, 000 unidades (ver tabla 2.1), siendo los Estados Unidos el mayor mercado de exportación. Sin embargo, debido a la crisis económica, la producción acumulada a Junio de 2009 fue de un 50.2% menor respecto al 2008 de acuerdo a la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA, 2010).

Por su importancia, la industria automotriz Mexicana representa el 17.3% del PIB Manufacturero Nacional, el 13.4% de los empleos del sector de manufactura y el 21.4% de las exportaciones (INEGI, 2009). Los estados de la Republica Mexicana con presencia del sector automotriz son: Sonora, Chihuahua, Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Puebla, Estado de México, Morelos, Coahuila y San Luis Potosí (ver figura 2.6).

Aunque México se ha mantenido en los primeros diez lugares de la producción automotriz mundial, tiene grandes retos en los próximos años, ya que de los países emergentes, China se esta posicionando como la de mayor crecimiento (ATKearney, 2009).

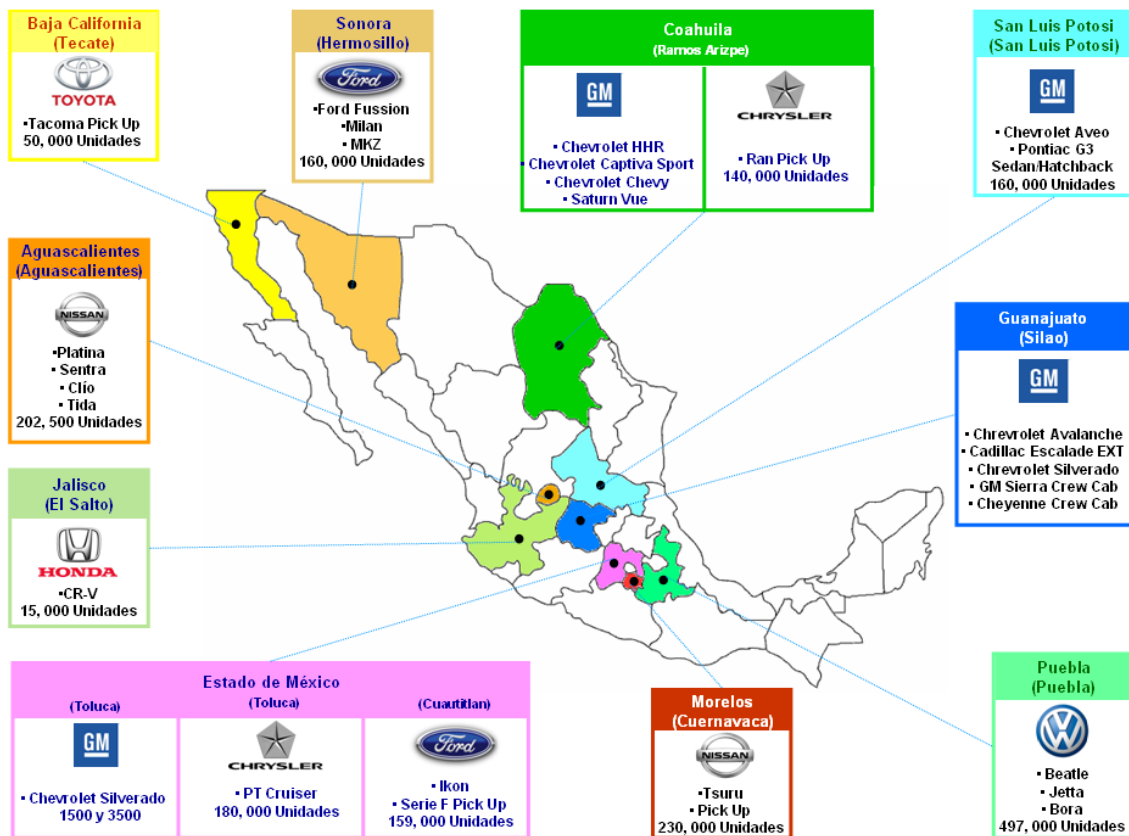


Figura 2.6. Industria automotriz Mexicana (Fuente: MexicoNow, 2010).

Algunas de las estrategias que identifica la AMIA (2010) para seguir en esta posición están: *mejorar la competitividad en los recursos humanos, desarrollar y fortalecer la base de proveedores de 2do. y 3er. tier, invertir en Desarrollo e Investigación y Desarrollar la Logística Automotriz.*

Otra de las estrategias es desarrollar el mercado nacional (mediante estímulos fiscales) ya que en México por cada 1000 habitantes sólo se adquieren 9 vehículos nuevos, mientras que en Brasil y Argentina en promedio son 14 y 15 unidades respectivamente.

2.3.2 Cluster Automotriz de Coahuila.

El Clúster Automotriz de la Región Sureste de Coahuila (CARSC), se encuentra ubicado en las ciudades de Saltillo y Ramos Arizpe (ver figura 2.7), y está conformado por General Motors y Chrysler como núcleo del mismo y sus principales proveedores: Delphi, Magna, Plastic Omnium, Cifunsa entre otros.

Este clúster esta formado por dos clases de industrias: *industria Terminal*, encargada del ensamblado final de vehículos y la de *autopartes y componentes*, la cual provee de insumos a la industria Terminal (Cedillo et al, 2006).

El CARSC al ser parte de una estructura global, también fue impactado por la baja de la demanda automotriz a nivel mundial, ocasionando una baja en la producción de las empresas que conforman las cadenas de suministro del CARSC (ver figura 2.7). Para hacer un comparativo, en el año 2008 la producción anual de General Motors fue de 280,365 vehículos ligeros, mientras que para Chrysler fue de 133,319 unidades en el mismo periodo. Sin embargo, para el año 2009, General Motors tuvo una producción de 97,076 unidades, mientras que Chrysler tuvo una producción de 56, 470 unidades, lo cual representó una disminución del 41.8% y del 52.4% respectivamente en sus niveles de producción.

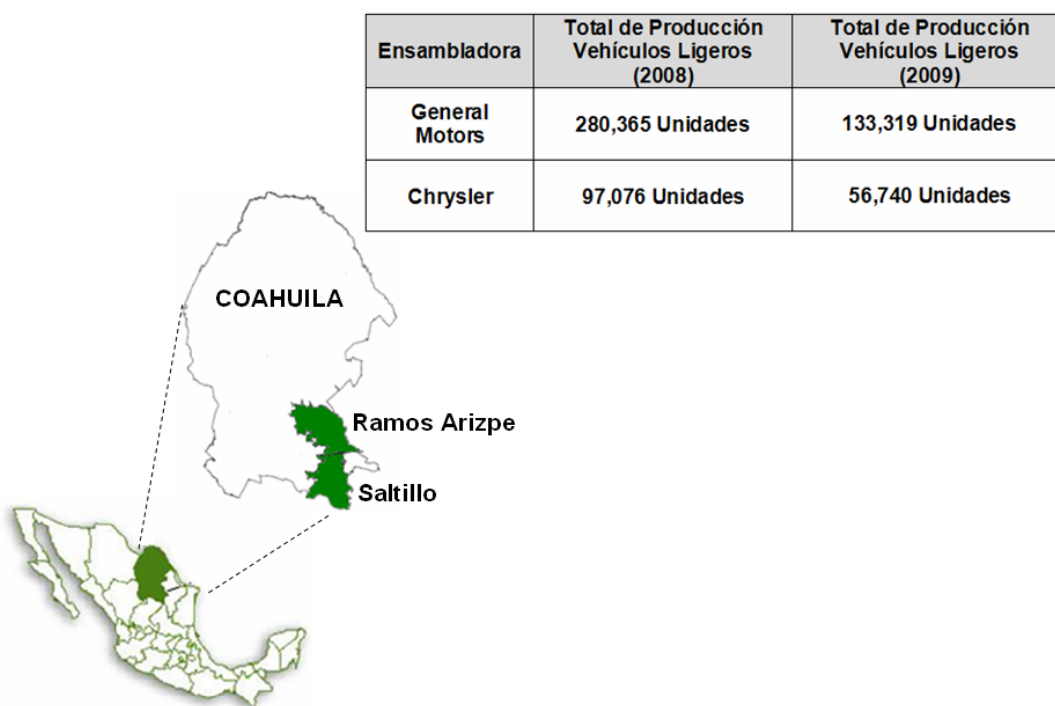


Figura 2.7. Ubicación del Cluster Automotriz de la Región Sureste de Coahuila y su tasa de producción durante el 2008-2009 (Elaboración propia).

Por su nivel de producción en el 2008 (figura 2.8), el CARSC estuvo ubicado en la primera posición junto con el cluster Automotriz de Puebla donde se encuentra instalada la ensambladora de Volkswagen, seguidos del Cluster Automotriz de Aguascalientes donde se ubica Nissan (Autofacts, 2010). Sin embargo, debido a que las empresas núcleo del CARSC lo conforman General Motors y Chrysler, quienes fueron las de mayor afectación de la industria automotriz mundial (amparándose en el capítulo 11 de la ley de Quiebras de los Estados Unidos), fue el CARSC el que tuvo el menor crecimiento de los tres principales clusters automotrices (ver figura 2.9).

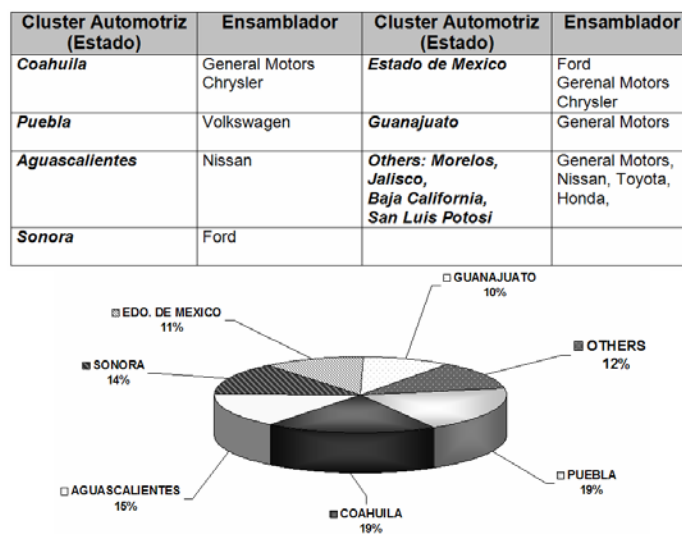


Figura 2.8. Principales clusters automotrices de México (Elaboración Propia)

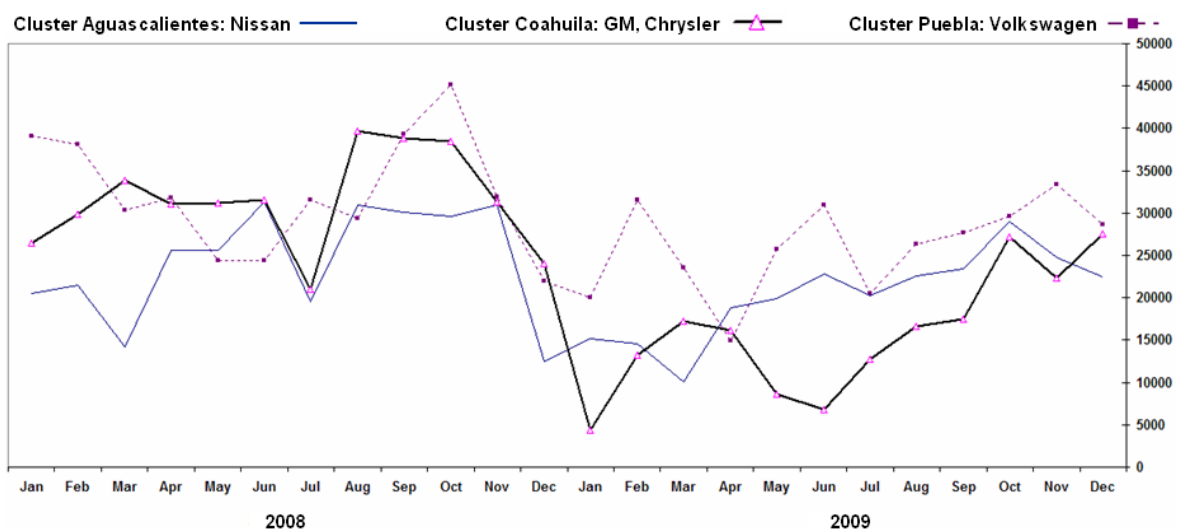


Figura 2.9. Comparación por el índice de producción 2008-2009, de los tres principales clusters automotrices (Elaboración Propia).

2.4 Alcance de la Investigación.

Las tendencias y retos de la industria automotriz, así como la complejidad de su estructura (global, nacional y regional), hacen necesario que las empresas que forman parte de sus cadenas de suministro, definan estrategias que les permitan estar preparadas para afrontar estos escenarios.

Estas estrategias deben enfocarse en sus procesos logísticos, ya que son indispensables en el éxito de las operaciones de las empresas y de su cadena de suministro, por lo que es necesario desarrollar herramientas y sistemas de ingeniería industrial que mejoren el desempeño de estos procesos.

Es por lo anterior, que la presente investigación tiene como objetivo desarrollar un sistema dinámico de evaluación logística que ayude a las empresas a evaluar sus procesos logísticos clave como son: *el aprovisionamiento, la producción y distribución* y mediante indicadores clave de desempeño, permita medir su desempeño respecto a las demandas y necesidades de sus clientes.

Este sistema se desarrollo considerando la importancia de las empresas automotrices en mercados emergentes para los próximos años, como es el caso del Cluster Automotriz de la Región Sureste de Coahuila, por consiguiente, fueron tomados en cuenta los factores y variables que identifican estos mercados.

Capítulo 3.

Enfoque de Investigación y Metodología

3.1 Introducción.

En este capítulo se analizan los enfoques de investigación que han sido utilizados en los estudios sobre la administración de las cadenas de suministro. Debido a la naturaleza de la investigación, ha sido el enfoque de investigación abductivo el más adecuado para desarrollar la presente investigación. Así mismo, se presenta la metodología empleada para la investigación, que consistió de tres etapas: la primera fue el desarrollo del sistema, la segunda consistió en la validación del sistema y en la tercera etapa se analizan los resultados obtenidos y se definen futuras líneas de investigación. La parte esencial de este capítulo, es el desarrollo de las hipótesis dinámicas de los procesos logísticos que conforman el sistema de evaluación logística, para lo cual se ha empleado la metodología de Dinámica de Sistemas.

3.2 Enfoques y Líneas de Investigación.

La investigación en logística ha sido considerada como interdisciplinaria (Kovács y Spens, 2005; Halldórsson y ArlbjØn, 2005), debido a la interacción que tiene con otras ciencias y a la influencia que ha recibido del enfoque económico y de conductas como la mercadotecnia y la administración, pero sobre todo de la ingeniería (Stock, 1997). Las metodologías que han tenido gran aceptación en los últimos años, en la investigación sobre sistemas logísticos son la modelación y simulación (Mentzer y Kanh, 1995).

La mayoría de las investigaciones que se han realizado en logística y administración de la cadena de suministro, tienen un enfoque deductivo o inductivo. El enfoque *de investigación deductivo* parte de una *ley general a un caso específico*; mientras que la *investigación inductiva* va de un caso específico o la recolección de observaciones a una ley general o de los hechos a la teoría (Taylor et al, 2002). En las figuras 3.1 y 3.2 se muestran estos dos enfoques metodológicos.

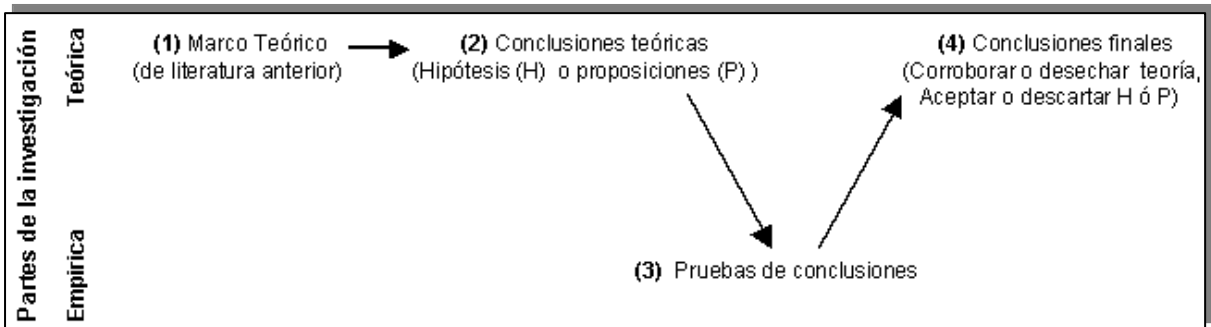


Figura 3.1. Enfoque de investigación deductiva (Fuente: Kovás y Spens, 2005).

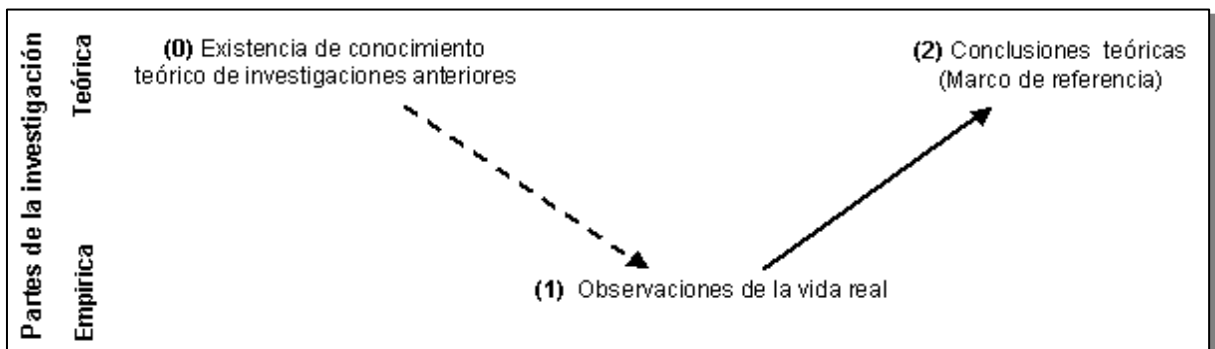


Figura 3.2. Enfoque de investigación inductiva (Fuente: Kovás y Spens, 2005).

Sin embargo, de acuerdo al tipo de investigación que se desea realizar sobre el desempeño y análisis de las cadenas de suministro, estas se han clasificado en cinco líneas principales, entre las que destacan (Seuring et al, 2005):

- *Justificación significativa para la construcción de teoría*
- *Encuestas en la administración de la cadena de suministro*
- *Investigación de casos de estudio en cadena de suministros*
- *Modelación y simulación de cadenas de suministro*

A continuación se hace una breve descripción de cada una de estas líneas.

3.2.1.- Justificación Significativa para la Construcción de Teoría.

De acuerdo a Golicic et al (2005), en la construcción de teoría respecto a la administración de las cadenas de suministro, se hace evidente el uso de métodos deductivos (típicamente cuantitativos) e inductivos (típicamente cualitativos).

El enfoque cualitativo permite entender el “fenómeno” en sus propios términos, por lo que se debe recolectar información en campo y en base a esta información describir el “fenómeno” desde el punto de vista de los informantes. Al utilizar el enfoque cuantitativo, se puede hacer una revisión bibliográfica apropiada para el desarrollo de un marco conceptual con las variables relevantes y las relaciones entre ellas.

En el análisis de la logística hay dos perspectivas, el *reduccionista* (Taylor) y el *global* (holístico) (von Bertalanffy). El primero, considerado como el “viejo paradigma” esta orientado a la producción industrial en masa y la logística se ve como una de las muchas funciones departamentales. Mientras que en el “nuevo paradigma”, los procesos de negocio se cruzan en todos los departamentos funcionales, así como con otras empresas externas. Hoy, los sistemas de pensamiento global dominan las ideas y las perspectivas en las organizaciones y sus administradores (Johannessen, 2005), por lo que este enfoque esta siendo utilizado para la generación de teoría significativa en la cadena de suministro.

3.2.2.- Encuestas en la Administración de la Cadena de Suministro.

Otra línea de análisis en la cadena de suministro, es mediante *encuestas de investigación*, este tipo de análisis utiliza la Modelación de Ecuaciones Estructurales (*Structural Equation Modeling, SEM*), la cual es una técnica poderosa que combina indicadores de sistemas y la estructura del sistema, apoyándose de pruebas estadísticas (sistemas lineales) y permite probar hipótesis que son difíciles de analizar con otras técnicas. Las encuestas de investigación se pueden desarrollar en cinco pasos (Gimenez, 2005).

El primer paso consiste en el desarrollo teórico del sistema, especificando las variables y la relación causal entre ellas. Aquí se expresan las hipótesis en forma de SEM. La ecuación muestra las relaciones entre las variables dependientes e independientes. En el segundo paso, se seleccionan los indicadores del sistema y la recolección de datos, que es uno de los puntos más importantes y en ocasiones de los que menos se hacen caso. En este paso, es necesario contar con un número suficiente de observaciones, ya que se puede tener más confianza en los resultados del sistema. El tercer paso

consiste en la estimación del sistema, en la cual se puede aplicar cualquiera de los tres siguientes procedimientos: máxima verosimilitud, mínimos cuadrados ordinarios, mínimos cuadrados ponderados. En el cuarto paso, se hace un ajuste al sistema y en su caso modificar el sistema; y en el quinto paso se hace la interpretación de los resultados, para detectar si las relaciones establecidas en el sistema propuesto son soportadas o no.

3.2.3.- Investigación de Casos de Estudio en la Cadena de Suministro.

Los casos de estudio se emplean cuando se analiza un “fenómeno” dentro de un contexto real, especialmente cuando los límites entre el fenómeno y el contexto no están claramente definidos (Seuring, 2005).

Una área de oportunidad en el estudio de las cadenas de suministro es la combinación de dos o más líneas de investigación, ya que son contados los trabajos que se han realizado. Uno de estos trabajos es propuesto por Gimenez (2005), quien emplea el caso de estudio y las encuestas de investigación.

Por su parte Mentzer y Flint (1997) mencionan que la combinación de métodos de investigación es muy importante en la generación de conocimiento, ya que se incrementa la calidad y fortaleza en la investigación (Näslund, 2002).

3.2.4.- Modelación y Simulación.

Debido a la complejidad que hay entre las diferentes etapas de la cadena de suministro, una de las líneas de investigación que ha tenido gran aceptación para su estudio y análisis es **la modelación y simulación**.

La simulación ofrece una posición media entre la modelación formal pura, observaciones empíricas y las estrategias aplicadas a la mejora de la cadena de suministro. Adicionalmente, esta línea ofrece la posibilidad de incluir estimaciones que no son fáciles de medir como los factores “suaves”. Sin embargo, un inconveniente de la simulación, es que no necesariamente provee de soluciones óptimas, además de que depende de la experiencia y creatividad del modelador (Gröbler y Schieritz, 2005). Algunas de las técnicas de simulación que se han utilizado en el estudio de cadenas de suministros han

sido la Dinámica de Sistemas y la simulación de eventos discretos (Reiner, 2005a).

En principio, la modelación y simulación hacen posible examinar el comportamiento dinámico de las cadenas de suministro, por lo que se les ve como el primer paso hacia un progreso científico, debido a la inherente complejidad de la realidad (Gröbler y Schieritz, 2005).

De acuerdo a Parunak et al (1998), muchos de los sistemas computacionales desarrollados para la cadena de suministro usan la metodología de Dinámica de Sistemas (DS), que fue desarrollada por Jay Forrester en el MIT (Aracil, 1995) y que esta basada en ecuaciones diferenciales ordinarias; sin embargo, la Modelación Basada en Agentes (Agent-Based Simulation, *ABS* por sus siglas en inglés), es una metodología que ha teniendo gran aceptación.

Entre las ventajas de la Dinámica de Sistemas, es la representación de los lazos de retroalimentación y los retardos de tiempo; además de la posibilidad de deducir la ocurrencia de algún comportamiento debido a que la estructura del sistema es más transparente, respecto a los ABS (Gröbler y Schieritz, 2005); sin embargo, ambas herramientas pueden complementarse. Autores como Naim y Towill (1994), Sterman (2000), Vlachos et al (2006), Umeda (2007) y Özbayrak et al (2007), han utilizado la modelación y simulación en el diseño de cadenas de suministro.

3.3. Enfoque de Investigación Abductivo.

En la sección anterior, se mencionaron los dos enfoques de investigación que más se utilizan en la investigación de sistemas logísticos y en la administración de la cadena de suministro; sin embargo, hay otro enfoque de investigación que combina aspectos teóricos y empíricos, y se define como *enfoque de investigación abductivo* (Kovás y Spens, 2005).

Los investigadores que utilizan este enfoque, lo definen como la *creatividad* sistematizada o la *intuición* en la investigación para desarrollar nuevo conocimiento (Taylor et al, 2002). Al igual que la investigación inductiva, el enfoque abductivo inicia con una observación de la realidad, pero existe una retroalimentación continua con la información teórica (ver figura 3.3).

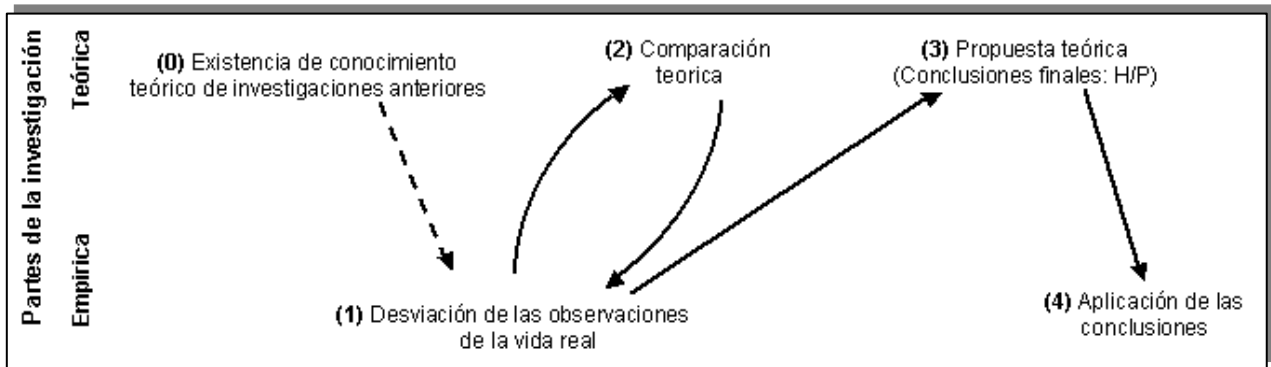


Figura 3.3. Enfoque de investigación abductiva (Fuente:Kovás y Spens, 2005).

En **casos de estudio y en investigación aplicada** el enfoque abductivo es comúnmente usado, debido a que se recolectan los datos de fuentes primarias (entrevistas, visitas de campo, etc), y se analiza información de fuentes secundarias (artículos, libros, revistas, etc.) y se va generando la teoría o el nuevo conocimiento (Dubois y Gadde, 2002).

En la siguiente sección se presentará la metodología de investigación que se utilizó en el desarrollo del sistema de evaluación dinámica.

3.4. Desarrollo de la Metodología de Investigación.

Considerando lo antes expuesto y por la naturaleza de la investigación, fue el enfoque de investigación abductivo el más adecuado. Respecto a la metodología de investigación, esta fue desarrollada tomando como base el trabajo propuesto por Menon et al (1999).

La metodología de investigación (ver figura 3.4), se dividió en tres etapas que fueron: *Desarrollo del modelo*, *Aplicación del Modelo*, y *Resultados y Conclusiones*.

La primera etapa estuvo enfocada en la recopilación de información de campo, mediante entrevistas y visitas al personal de las empresas que forman parte de las cadenas de suministro automotriz, con el objetivo de conocer e identificar la estructura y actividades que realizan las empresas regionales.

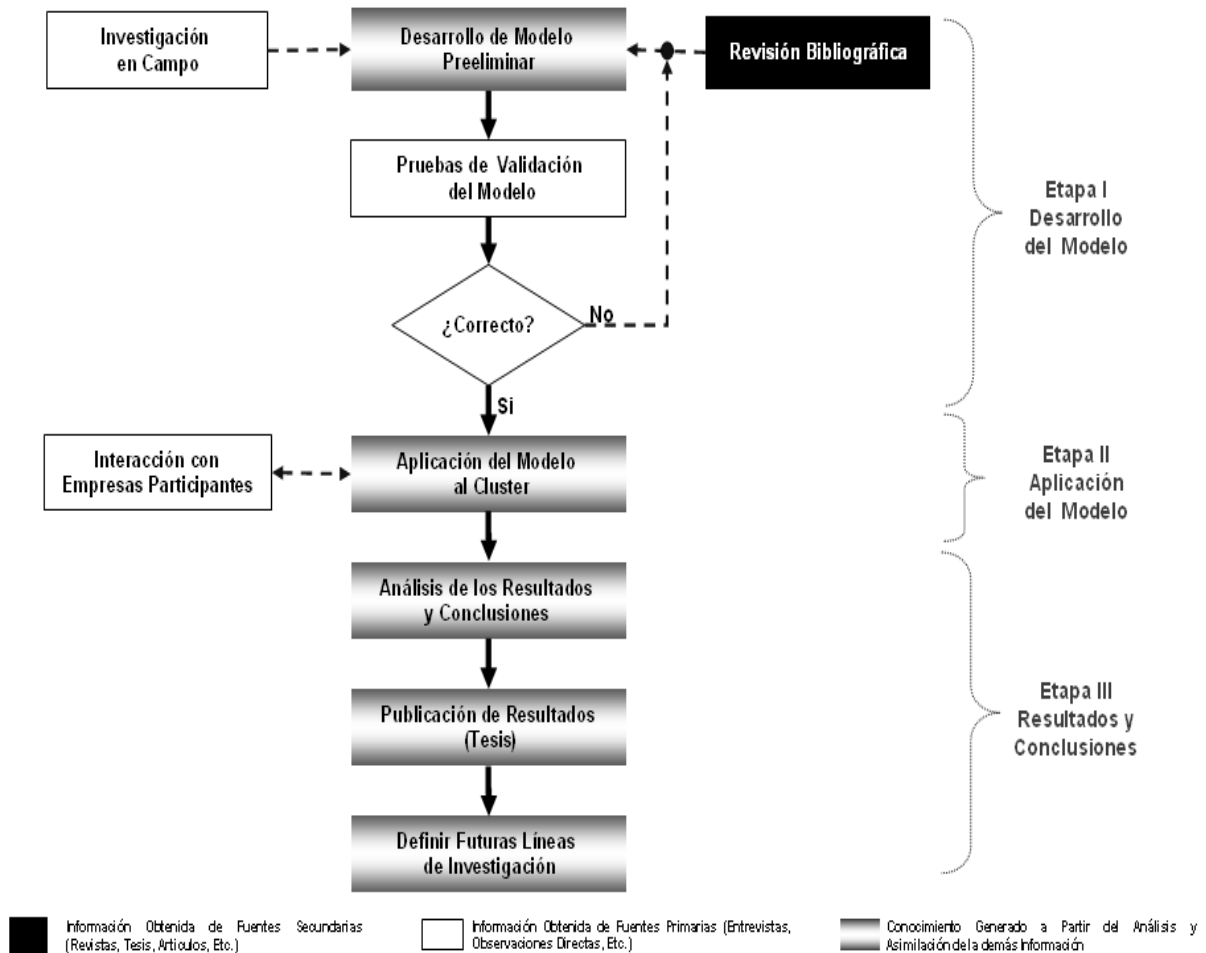


Figura 3.4. Metodología de investigación propuesta (Elaboración propia).

Así mismo, se realizó una extensa revisión bibliográfica para conocer los principales autores que han estudiado sobre los diferentes tópicos aplicados a la administración de las cadenas de suministro.

Como parte de esta primera etapa, también se calculó el tamaño de muestra de las empresas que serían invitadas y contactadas para entrevista, por lo que se utilizó un *muestreo estratificado* (Scheaffer et al, 1987), debido a que los elementos de la población (empresas) se tenían identificadas por niveles de proveeduría. Para calcular este tamaño de muestra, se utilizó un macro desarrollado en Excel.

De acuerdo a los resultados obtenidos (figura 3.5), el tamaño de la muestra para cada nivel de proveeduría indicó que para el primer nivel o tier era necesario entrevistar a 30 empresas, 7 empresas de segundo, 15 de tercero y 3 de cuarto nivel, si se deseaba un error de estimación del 5%. Para

un error de estimación del 3% sería necesario entrevistar a 33 empresas de primer nivel, 8 de segundo, 16 de tercero y 4 del cuarto nivel.

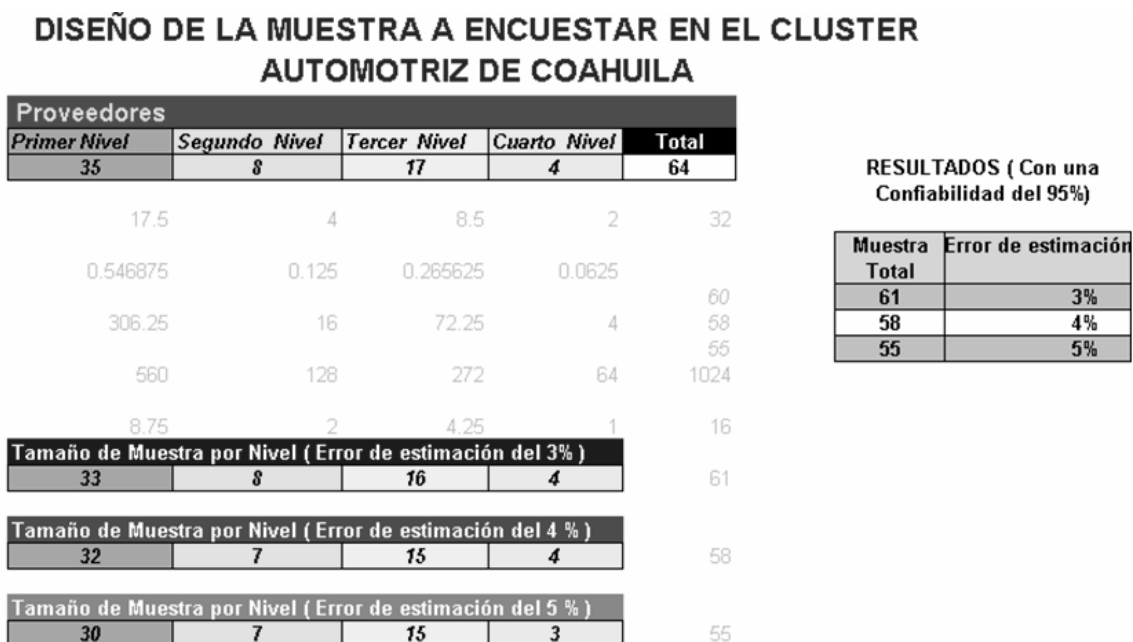


Figura 3.5. Tamaño de la muestra en cada estrato o nivel de proveeduría

Sin embargo, aunque se desarrolló este procedimiento, no fue posible realizar las entrevistas al personal de las empresas, aunque se mantuvo contacto directo con las mismas, ya sea vía telefónica o mediante correos electrónicos.

Debido a lo anterior, se empleo el muestreo por cuotas, que es un muestreo no probabilístico, pero que se utiliza cuando se tiene un buen conocimiento sobre los estratos de la población y/o de los individuos más representativos o adecuados para los fines de la investigación. En este muestreo, se fijan cuotas que consisten en un número de individuos que reúnen ciertas condiciones y que en el caso de la presente investigación eran los niveles de proveeduría del sector automotriz.

Tres empresas fueron la que aceptaron la invitación y las que de acuerdo a las necesidades eran las indicadas: dos de primer nivel de proveeduría y una de segundo nivel. Estas empresas fueron Inoplastic Omnium, Magna Intier e Irsacero (ver anexo A).

Con la información obtenida en campo y mediante la extensa revisión bibliográfica que se hizo, se desarrollo el modelo preeliminar del sistema de evaluación y se realizaron las primera pruebas de validación con datos obtenidos en campo y teóricos.

La segunda etapa consistió en la aplicación del sistema a empresas para su validación. Es importante mencionar que aunque el objetivo era validar el sistema con una muestra significativa de empresas del Cluster Automotriz de la Región Sureste de Coahuila (CARSC), sólo se tuvo apoyo de la empresa CIFUNSA Planta 3 en etapa de validación, por lo que se hace un agradecimiento al personal de esta empresa por su interés mostrado. Los resultados obtenidos en la tercera etapa de la metodología (resultados y conclusiones) se presentan en el capítulo 4.

3.5. Selección de la Metodología de Simulación para Desarrollar el Sistema de Evaluación.

Para seleccionar la metodología de simulación que se uso para desarrollar el sistema de evaluación logístico, se realizó una búsqueda bibliográfica sobre las metodologías que se han utilizado para modelar y simular cadenas de suministro.

Aunque existen diferentes metodologías de simulación y meta-heurísticas que se han aplicado en el análisis de cadenas de suministro como colonia de hormigas (Moncayo, 2008), la investigación se centró en tres metodologías que fueron: *Dinámica de Sistemas (System Dynamics, SD)*, *Simulación de Eventos Discretos (Discrete Event Simulation, DES)* y *la Simulación Basada en Agentes (Agent Based Simulation, ABS)*.

La Dinámica de Sistemas, permite conocer como la estructura del sistema complejo modifica su comportamiento a través del tiempo, mediante lazos de retroalimentación y retardos de tiempo (Ford, 1999, Sterman, 2000). La Simulación de Eventos Discretos son representados de forma individual y dando atributos a cada uno de ellos permite determinar el comportamiento del sistema a través de la simulación (Tako y Robinson, 2008). La Simulación Basada en Agentes, es una metodología que permite analizar sistemas

complejos mediante agentes que pueden programarse para tener su propia idiosincrasia (Schieritz y Größler 2003).

Algunos autores como Sweeter (1999); Akkermans (2001); Scholl (2001a, 2001b); Schieritz y Milling (2003); Schieritz y Größler (2003); Morecroft y Stewart (2005); Sarmiento et al (2007); Tako y Robinson (2008, 2009) han realizado estudios comparativos de estas metodologías, en la tabla 3.1., se resumen los resultados obtenidos de estos estudios.

Tabla 3.1. Comparación de metodologías para la simulación de cadenas de suministro (Elaboración Propia).

Característica	SD	ABS	DES
Objetivo del sistema	Estratégico- Táctico	Táctico- Operacional	Táctico- Operacional
Bloque de Construcción	Reservorios y Flujos	Agentes Individuales	Colas y Actividades
Manejo del Tiempo	Continuo	Discreto o Continuo	Discreto
Retroalimentación	Explicita	Implícita	Implícita
Perspectiva	Holístico	Analítico	Analítico
Entrada de datos	Cuantitativo- Cualitativo	Cuantitativo- Cualitativo	Cuantitativo
Validación	Enfoque Caja Blanca	Enfoque Caja Negra	Enfoque Caja Negra
Relación entre variables	Lineales- No lineales	Lineales- No lineales	En su mayoría Lineales

SD = *System Dynamics (Dinámica de Sistemas)*

ABS = *Agent Based Simulation (Modelación Basada en Agentes)*

DES = *Discrete Event Simulation (Simulación de Eventos Discretos)*

Con la información de la tabla anterior y los objetivos del proyecto de investigación, la metodología de *Dinámica de Sistemas* fue seleccionada para desarrollar el sistema de simulación.

De acuerdo a Sterman (2000), los cinco pasos para desarrollar un modelo en Dinámica de Sistemas son:

1. **Planteamiento del Problema.** Se define el problema y cuales son las variables clave que se deben considerar. Se define el horizonte de tiempo.
2. **Formulación de Hipótesis Dinámica.** Para la formulación de las hipótesis dinámicas, se pueden emplear diagramas causales.
3. **Formulación del Sistema de Simulación.** Se definen las reglas y formulas, se estiman los parámetros y se establecen las condiciones iniciales.
4. **Pruebas.** Se hacen pruebas para dar la robustez del sistema.
5. **Diseño y Evaluación de Políticas.** Se crean escenarios, se hacen escenarios ¿Que pasa si? Y se hacen análisis de sensibilidad para evaluar la robustez del sistema.

Sin embargo, parte del éxito de la modelación es en gran medida de la experiencia y creatividad del modelador (Sterman, 2000). Para explicar el sistema de evaluación logístico, de manera conceptual, se presenta un diagrama de bloques (ver figura 3.6).

3.5.1 Planteamiento del Problema.

Con el análisis de la información obtenida de las visitas en campo y las entrevistas, se identificaron algunas de las causas que han limitado la integración de las empresas regionales a las cadenas de suministro automotriz del CARSC, y que son áreas de oportunidad que deben ser atendidas, en la mejora de la competitividad regional.

De las causas que destacan, esta la ausencia de herramientas o metodologías que permitan mejorar los procesos logísticos, que son parte fundamental en la administración de las cadenas de suministro de las empresas. Así mismo, se observó que la toma decisiones por parte del

personal, en aspectos relacionados a los sistemas logísticos de sus empresas, es realizada en base a su experiencia, siendo acertadas en algunas ocasiones, pero debido al ambiente competitivo de este sector, es necesario que se realicen con mayor grado de certeza y con las herramientas adecuadas.

Además, teniendo como antecedente, la importancia de los mercados emergentes en la industria automotriz en los próximos años, es vital que las empresas estén mejor preparadas para afrontar las demandas y tendencias de este sector (Cedillo, Pérez, 2010).

Es por lo anterior, que la presente investigación tiene como objetivo desarrollar un sistema dinámico de evaluación logística, que se utilice como herramienta, permitiendo a las empresas evaluar los procesos logísticos clave de su cadena de suministro, identificando áreas de oportunidad y con los resultados obtenidos de esta evaluación, se tomen mejores decisiones y se definan las estrategias apropiadas para mejorar la competitividad de la empresa.

Parte fundamental de este sistema de evaluación, es el planteamiento de las hipótesis dinámicas, por tal se describirán las relaciones entre los procesos logísticos de la empresa.

3.5.2 Formulación de las Hipótesis Dinámicas.

En esta sección, se establecen las hipótesis dinámicas del sistema mediante diagramas causales, identificando los principales lazos de retroalimentación que hay entre las variables del sistema. De acuerdo a Oliva (1996), las hipótesis dinámicas, permiten explicar como la estructura del sistema modifica el comportamiento del mismo.

En esta investigación, las hipótesis dinámicas, ayudan a explicar que al estar los procesos logísticos inter-relacionados, las decisiones que se realicen en uno de estos procesos o variable clave, puede afectar el desempeño global de toda la cadena de suministro (enfoque sistémico).

Las hipótesis dinámicas, también pueden ayudar a explicar y analizar la el impacto que tiene la variación de la demanda en los procesos logísticos de las cadenas de suministro (efecto látigo).

El caso anterior, se pudo observar cuando las cadenas de suministro automotriz mexicanas en el 2008, y especialmente las del CARSC tuvieron una disminución de la demanda de las empresas núcleo del cluster, ocasionando grandes afectaciones a las cadenas de suministro regionales y especialmente en el capital laboral de las empresas (Sánchez et al, 2010).

Para definir las hipótesis dinámicas de este proyecto, se utilizará el diagrama a bloques del sistema propuesto (ver figura 3.6). Los elementos principales del sistema son: *los clientes, la fábrica y los proveedores*. Los procesos que se analizan son el *aprovisionamiento* de materia prima, el proceso de *producción* de las órdenes recibidas y *la distribución* de las entregas a los clientes.

La primera parte del sistema es el análisis de la demanda del cliente (variable exógena) y su influencia en el **proceso de distribución** de las órdenes al cliente. En este proceso se identifican tres variables importantes que son: *inventarios de producto terminado, ordenes pendientes y envío* de los pedidos al cliente (ver figura 3.7).

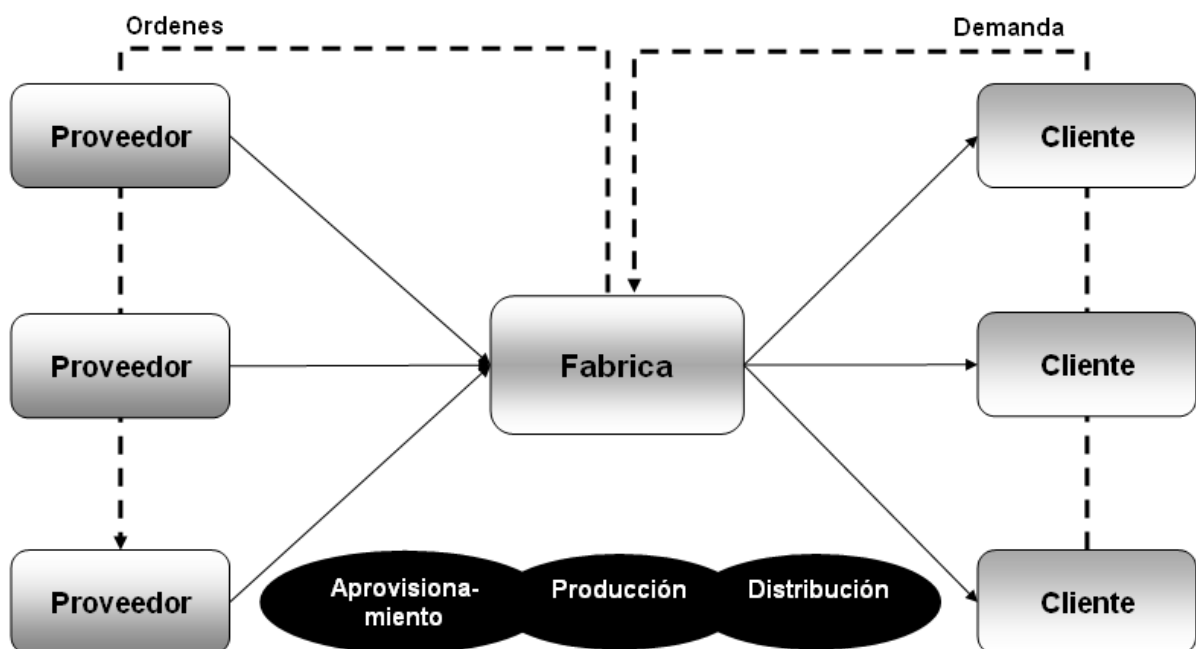


Figura 3.6. Diagrama a bloques del sistema propuesto.

En este proceso se identifican dos bucles: **(R1)** que es un bucle de reforzamiento (*Reinforcing*) y **(B1)** que es un bucle de equilibrio (*Balancing*). El bucle **(R1)** esta formado por el inventario de producto terminado, los envíos al cliente y las órdenes pendientes. La estructura de este bucle, es el siguiente: Si el inventario de producto terminado es mayor o igual a la orden del cliente, entonces se hace el envío al cliente de este inventario, decrementándose el mismo. De tal manera, que a un incremento en el inventario de producto terminado, se podrá cumplir con los envíos de los clientes (influencia positiva) y viceversa; a un decremento en el nivel del inventario, disminuirán los envíos. Si la tasa de envíos a los clientes se incrementa, entonces disminuirán las órdenes pendientes (influencia negativa). Las órdenes pendientes influyen negativamente sobre el inventario de producto terminado.

El bucle de equilibrio **(B1)**, lo conforman el inventario de producto terminado y los envíos al cliente. Si el inventario de producto terminado se incrementa (debido a un incremento en la tasa de producción), entonces la tasa de envíos también se incrementará. Sin embargo, el incremento en tasa de los envíos, hará que el inventario de producto terminado disminuya.

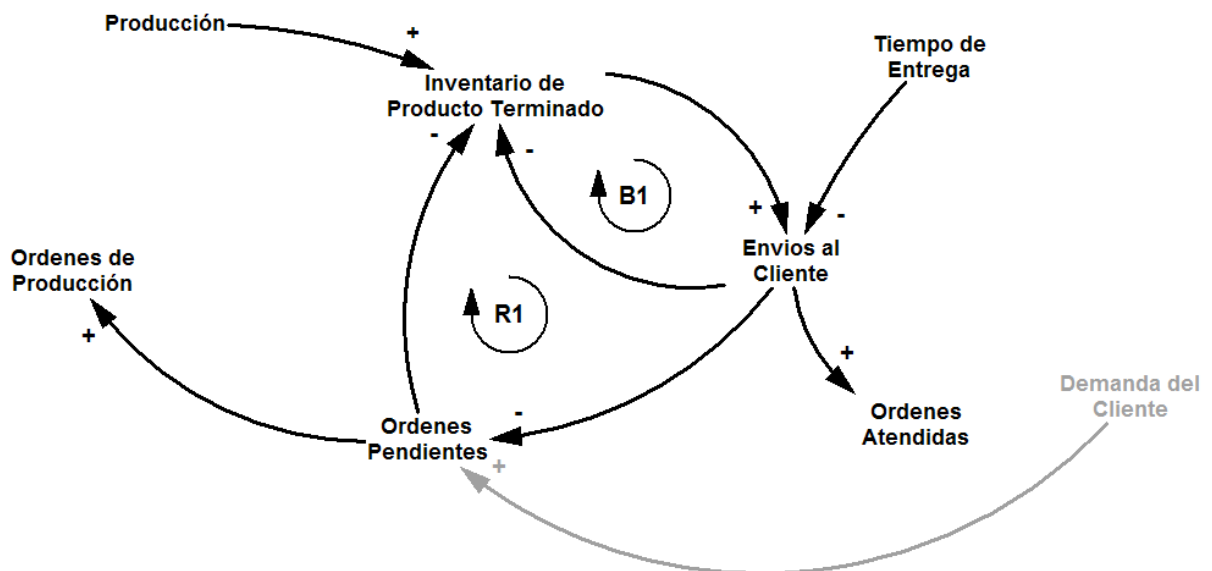


Figura 3.7. Diagrama causal del proceso de distribución.

El segundo proceso, es el de **producción** (ver figura 3.8), donde se identifican los bucles (B2) y (B3). El bucle (B2), esta integrado por el inventario de producto terminado, los envíos al cliente, las órdenes pendientes, las órdenes de producción, la línea de espera, el subproceso, el WIP (Work in Process), y el proceso principal de producción. La estructura de este bucle es el siguiente: *Al incrementarse la tasa de producción, el inventario de producto terminado también se incrementa (influencia positiva), con lo cual, se puede incrementar la tasa de envíos a los clientes y se podrán disminuir las órdenes pendientes (influencia negativa). Por otro lado, un incremento en la demanda, incrementará las órdenes pendientes, que a su vez incrementarán las órdenes de producción, generando un incremento en la línea de espera de las órdenes. La línea de espera hará que se incremente el trabajo a realizar en el subproceso. Al incrementarse el trabajo realizado en el subproceso, también se incrementará el WIP ocasionando que se incremente de subproductos al proceso principal de producción y este a su vez, incremente el nivel del inventario de producto terminado.*

El bucle (B3), explica como al incrementarse el nivel de inventario de producto terminado, influye en la disminución del ajuste del inventario deseado. Y al decrementarse este ajuste, las órdenes de producción también disminuyen.

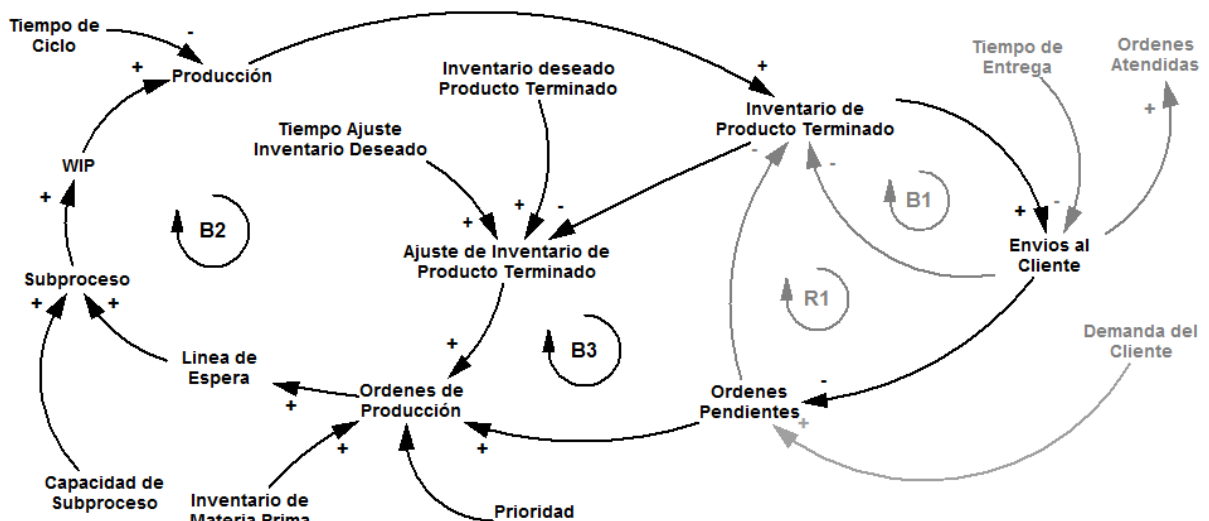


Figura 3.8. Diagrama causal del proceso de producción.

El tercer proceso, es el de **aprovisionamiento** (ver figura 3.9), se identifican tres bucles de equilibrio (**B4**), (**B5**) y (**B6**) y uno de reforzamiento (**R2**). El bucle (**B4**), considera al inventario de materia prima y las ordenes de producción. *Si el inventario de materia prima se incrementa, entonces se podrá suministrar más material, para que se cumplan las órdenes de producción. Y viceversa, al incrementarse las órdenes de producción, será necesario suministrar más materia prima, por lo cual, disminuirá el inventario de materia prima.* En el bucle (**R2**), *si las ordenes de producción se incrementan, entonces se incrementará el número de pedidos que se hagan a los proveedores (el número de pedidos estará en función del punto de reorden y el tamaño de lote), y esto a su vez incrementará los pedidos en tránsito. Si se incrementan los pedidos en tránsito, entonces se incrementará el nivel del inventario de materia prima, impactando en igual sentido el suministro de material a las órdenes de producción. Si el inventario de materia prima se incrementa, entonces el número de pedidos disminuirá (influencia negativa).* El bucle (**B5**), explica que *si hay un incremento en el número de pedidos, también se incrementarán los pedidos en tránsito, que a su vez incrementará el inventario de materia prima.* La estructura del bucle de equilibrio (**B6**), *indica que si se incrementa la tasa de pedidos a los proveedores, entonces los pedidos en tránsito también se incrementarán, pero a su vez, al incrementarse los pedidos en tránsito, influirá negativamente en la tasa de los pedidos.*

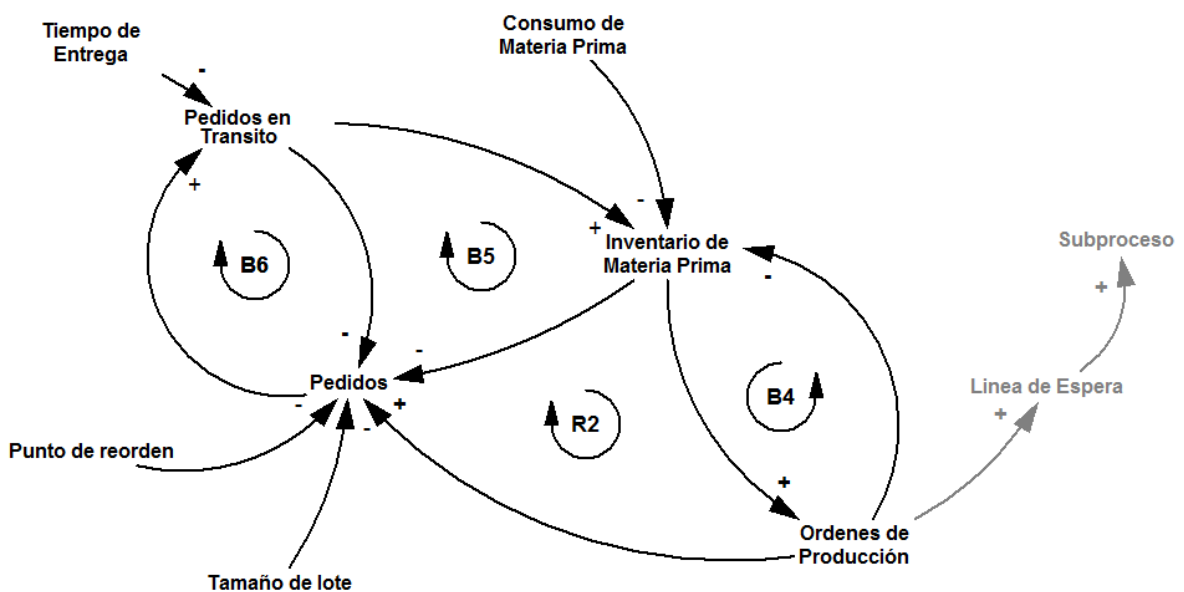


Figura 3.9. Diagrama causal del proceso de aprovisionamiento.

Una vez realizada la explicación de los bucles anteriores, las hipótesis dinámicas se pueden resumir de la siguiente manera:

- Si se generan fluctuaciones en el proceso debido a un incremento en la demanda del cliente, entonces el bucle **(R1)** puede generar inestabilidad en el proceso de las entregas al cliente, por lo que se deberá tener una buena administración de los inventarios y de los tiempos de entrega acordados con el cliente **(B1)**.
- Si se incrementan las órdenes de producción **(B3)**, entonces se deberá tener un buen control en el ajuste del inventario de producto terminado o en el WIP que forma parte del bucle de equilibrio **(B4)**.
- Si la tasa de producción se incrementa **(R2)**, entonces se deberá tener control de sobre la administración del inventario de materia prima **(B4)**, fijar un punto de re-orden o el tamaño de lote que permitan que el número de pedidos sean los necesarios **(B5)** o definir los tiempos de entrega idóneos con los proveedores **(B6)**.

Estas hipótesis ayudarán a comprender la estructura y el comportamiento del sistema, identificando las variables clave en cada uno de los procesos.

La selección de los procesos antes descritos, fueron considerando la información de campo y lo propuesto en el *Modelo SCOR (Supply Chain Council, 2010)*; sin embargo, los procesos de *Plan* y *Retorno* no fueron tomados en cuenta.

El sistema propuesto considera 57 variables de las cuales 12 son variables de estado y 3 son tablas. Las variables fueron seleccionadas como resultado del análisis de campo y de investigaciones en el área de cadena de suministro que fueron clasificadas por: *Diseño de Cadenas de Suministro (DSC)*, *Simulación de Cadenas de Suministro con Dinámica de Sistemas (SSD)*, *Indicadores de Desempeño de la Cadena de Suministro (IDSC)* y *Evaluación de Cadenas de Suministro (ESC)*, así como del trabajo de campo. En la tabla 3.2., se presenta un resumen de este análisis.

Tabla 3.2. Autores y área de investigación en la administración de la cadena de suministro (Elaboración Propia).

Autor(es)	Área	Aportaciones
Forrester (1961)	SSD	Se le considera el pionero del estudio formal de cadenas de suministro (CS) y el desarrollo de la metodología de Dinámica de Sistemas.
Lee y Billington (1995)	DSC	Realizan un análisis sobre la evolución de las cadenas de suministro en su estructura.
Beamon (1999)	IDSC	Establece que los indicadores deben ser los apropiados en cada eslabón de la cadena para un correcto análisis.
Sterman (2000)	DSC, SSD	Estructura los bucles de retroalimentación que se generan en una CS.
Angerhoer y Angelides (2000)	DSC	Hacen una investigación y desarrollan una taxonomía de las investigaciones que han usado Dinámica de Sistemas en la modelación de CS.
Gunasekaran et al (2001)	IDSC	Clasifica en tres niveles los indicadores que se utilizan en el análisis de la CS que son: Estratégico, Táctico y Operativo.
Higuchi y Troutt (2004)	SSD	Realizan un sistema en Dinámica de Sistemas que evalúa el comportamiento de la cadena de suministro, en el desarrollo de un producto con vida corta (el caso Tamagochi).
Umeda y Tina (2004)	SSD	Identifican los elementos clave que debe tener un simulador genérico para el análisis de la CS.
Gunasekaran et al (2004)	IDSC	Presentan como una línea de investigación en el estudio de la CS, el desarrollo y análisis de indicadores.
Zaragoza Logistics Center (2004)	IDSC	Analizan los indicadores y las mejores prácticas que son utilizadas en cadenas de suministro de Zaragoza, España.

Cont. Tabla 3.2. Autores y área de investigación en la Administración de la Cadena de Suministro (Elaboración Propia).

Foggin et al (2004)	ESC	Desarrollan un herramienta para diagnosticar cualitativamente una CS.
Georgiadis et al (2005)	SSD	Realizan un sistema de simulación para evaluar una cadena de suministro simple en la industria de alimentos y argumentan la importancia del enfoque global para la toma de decisiones.
Reiner (2005b)	ESC, IDSC	Desarrolla un sistema de simulación (DES-SD) y evalúa la satisfacción del cliente y su impacto en el desempeño de la cadena de suministro.
Kamath y Roy (2006)	SSD	Analizan la cadena de suministro de productos innovadores y de vida corta, y su impacto por el incremento en el uso de la capacidad de producción de la empresa.
Shepherd y Günter (2006)	ESC	Hacen una investigación sobre autores que han trabajado en el desarrollo de indicadores para la CS, encontrado que aún existen factores que no han sido estudiados y que tiene influencia sobre el desempeño.
Özbayrak et al, 2007	SSD	Desarrollan un sistema de simulación de una empresa mediana con un enfoque de producción Make to Order (MTO) y generan escenarios: alta demanda, baja demanda, y alta incertidumbre, analizando la satisfacción del cliente.
Sánchez et al, (2008)	SSD	Diseñan un sistema de simulación, identificando el tiempo de ciclo, los inventarios y los tiempos de entrega por parte de los proveedores como las variables críticas.

Cont. Tabla 3.2. Autores y área de investigación en la Administración de la Cadena de Suministro (Elaboración Propia).

Lapide (2009)	IDSC	Sugiere que los indicadores indican a las empresas donde deben enfocar sus esfuerzos para asegurar su ventaja competitiva.
Supply Chain Council (2010)	DSC, IDSC	Proponen un sistema de referencia (SCOR Model), donde identifican los procesos clave en la CS y una serie de indicadores.
ODETTE (2009)	ESC	Asociación Automotriz Europea desarrolla un sistema de evaluación logística que se enfoca en procesos como: <i>capacidad y planeación de producción, interfaz con cliente, control del producto e interfaz con proveedores.</i>

3.5.3 Formulación del Sistema de Simulación.

En esta sección se presentan los diagramas de Flujos o Forrester, que sirvieron para realizar el sistema de evaluación, la formulación matemática de las variables principales del sistema y los ciclos lógicos utilizados en la programación del modelo de simulación. Los diagramas de Forrester, mostrados en esta sección fueron realizados en el software STELLA V 9.1.3[®].

El sistema consideró dos tipos de variables: *endógenas* y *exógenas*. Las *variables endógenas* son aquellas que forman parte de los bucles de retroalimentación dentro del sistema y las *variables exógenas* las que no son afectadas por el sistema (Albin, 1997). La tabla 3.3 muestra un resumen de las variables endógenas y exógenas del sistema.

De las variables que se omitieron, sobresale el capital laboral, por tal motivo su análisis será considerado dentro del trabajo futuro.

Tabla 3.3. Principales variables del sistema.

Variables Endógenas	Variable exógena	Variables omitidas
<ul style="list-style-type: none"> • Inventario de Producto Terminado • Ordenes Pendientes • Envíos al cliente • Ordenes de Producción • Ajuste de Inventario de Producto Terminado • Línea de Espera • Subproceso • WIP • Producción • Inventario de Materia Prima • Pedidos • Pedidos en Tránsito 	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda del Cliente 	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad • Capital laboral • Pronósticos

En la estructuración y formulación del sistema, se consideraron algunas suposiciones, como:

- *La producción de un producto único, el cual es enviado a los diferentes clientes;*
- *Se considera sólo una línea de producción, por tal motivo se asigna una prioridad a las ordenes de producción y en ese orden se van produciendo;*
- *Se asume que la capacidad de producción en la empresa es superior a la demanda esperada;*
- *Sólo hay un subproceso y un proceso principal en la producción de las ordenes; y*
- *Se asume que el consumo de materia prima para la producción de un producto tiene una relación de uno a uno.*

Sin embargo, es importante mencionar, que en la aplicación del sistema en la empresa del CARSC (Capítulo 4), se hicieron adecuaciones, por lo cual, algunos supuestos fueron adecuados a los procesos reales de la empresa. Así

mismo, aunque el sistema evalúa tres clientes, sólo se mostrará las ecuaciones que permiten el análisis de un cliente, salvo cuando la variable requiera una explicación detallada, como es el caso de la prioridad de las órdenes de producción.

3.5.3.1 Proceso de Aprovisionamiento.

Al proceso de aprovisionamiento, se le considera como la interfaz entre los proveedores y los clientes y es un elemento clave en el planteamiento estratégico de la empresa (Ponce y Prida; 2001, 2006).

Para desarrollar la parte de aprovisionamiento del sistema de evaluación, se consideró el diagrama causal expuesto en la figura 3.8, y en base a este, se desarrollo el diagrama de Forrester o Flujos (ver figura 3.10).

En el proceso de aprovisionamiento, se define un punto de re-orden (PR), que indica cuando es necesario realizar un pedido (PE), de un tamaño de lote al proveedor (TL). Por ejemplo si el PR se establece en 5000 unidades, entonces se realizará un pedido de cierto tamaño de lote, cuando el inventario de materia prima más los pedidos que vienen en transito (materia prima en tránsito) sea igual o menor al PR. Si el inventario de materia prima es superior a este PR, entonces no se harán pedidos.

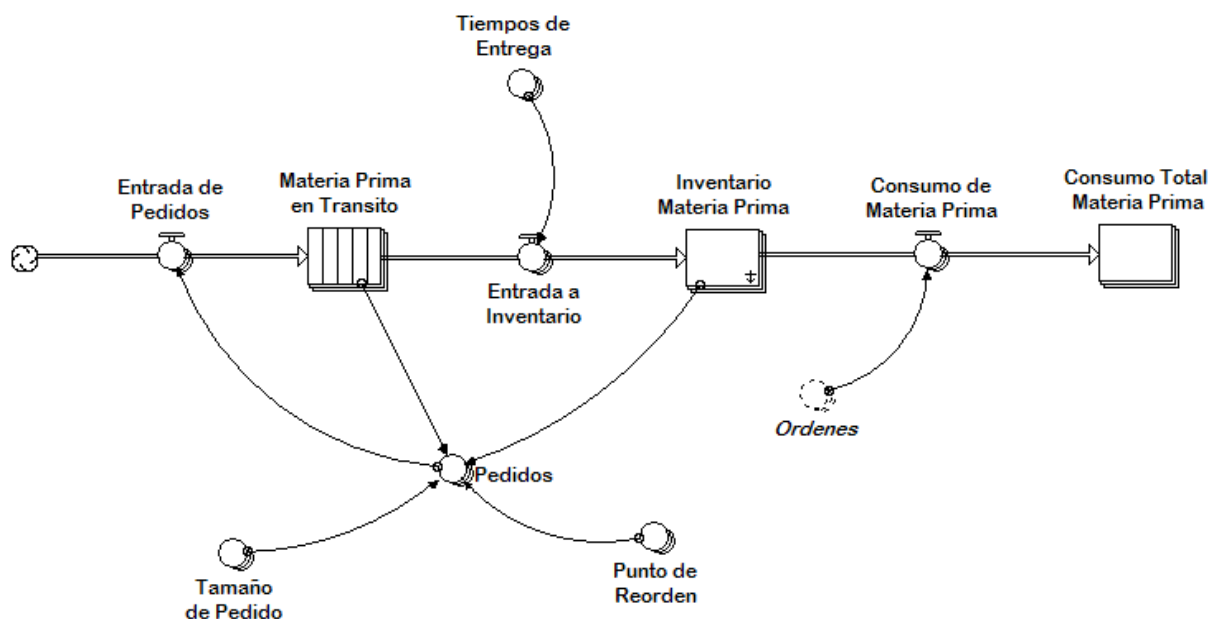


Figura 3.10. Diagrama de Forrester del proceso de aprovisionamiento

Los pedidos se pueden calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Si } (IMP + MPT) \leq PR, \text{ entonces } PE \text{ otro caso } 0 \dots (3.1)$$

Donde, *IMP* es el inventario de materia prima, *MPT* es la materia prima en tránsito. Para calcular el inventario de materia prima, se utiliza la siguiente ecuación:

$$IMP(t) = IMP(0) + \int_0^t (RPE - CMP) dt \dots\dots\dots(3.2)$$

Siendo:

CMP el consumo de materia prima por las órdenes de producción y *RPE* es la recepción de los pedidos que vienen en tránsito.

El tiempo de entrega (*TE*), es una variable crítica en los procesos de aprovisionamiento, ya que define en gran medida la rapidez en el surtimiento de los pedidos. En los sistemas de aprovisionamiento, si el *TE* se incrementa, entonces el inventario de materia prima puede quedar expuesto a un desabasto, lo cual afecta directamente a la línea de producción.

3.5.3.2 Proceso de Producción.

Considerando las variables y los bucles de retroalimentación, que se definieron en el diagrama causal de la figura 3.7, se desarrollo el diagrama de Forrester para el proceso de producción (figura 3.11).

Las órdenes que son recibidas (demanda de los clientes), se van acumulando para que se programe su producción, por lo cual se asumen como Órdenes de Producción, que son calculadas por la siguiente ecuación:

$$OPR(t) = OPR(0) + \int_0^t (OR - PRI) dt \dots\dots\dots(3.3)$$

Donde, *OR* son las órdenes que fueron recibidas por la empresa, también se considera el ajuste del inventario de producto terminado que esta definida por:

$$OR = RO + AIPT \dots\dots\dots(3.4)$$

Siendo *RO* la recepción de las órdenes (demanda del cliente).

Las prioridades (PRI), que se les puede asignar a las órdenes de los clientes pueden ser 1, 2 ó 3, y es asignada de acuerdo a como se reciben. La prioridad de las órdenes, es mediante una prioridad FIFO (First Input, First Output), ya que la primera orden que se programa (prioridad 1), es la primera que entrará a la línea de espera. La formulación de las prioridades es la siguiente:

Prioridad 1:

$$\text{Min (OPR (1), CapSub(1), IMP)} \dots \dots \dots (3.5)$$

Prioridad 2:

$$\text{Si OPR(1)=0, Entonces Min (OPR (2), CapSub(2), IMP), en otro caso 0. (3.6)}$$

Prioridad 3:

$$\text{Si OPR (1) y OPR (2)=0, Entonces Min (OPR(3), CapSub(3), IMP), en otro caso 0} \dots \dots \dots (3.7)$$

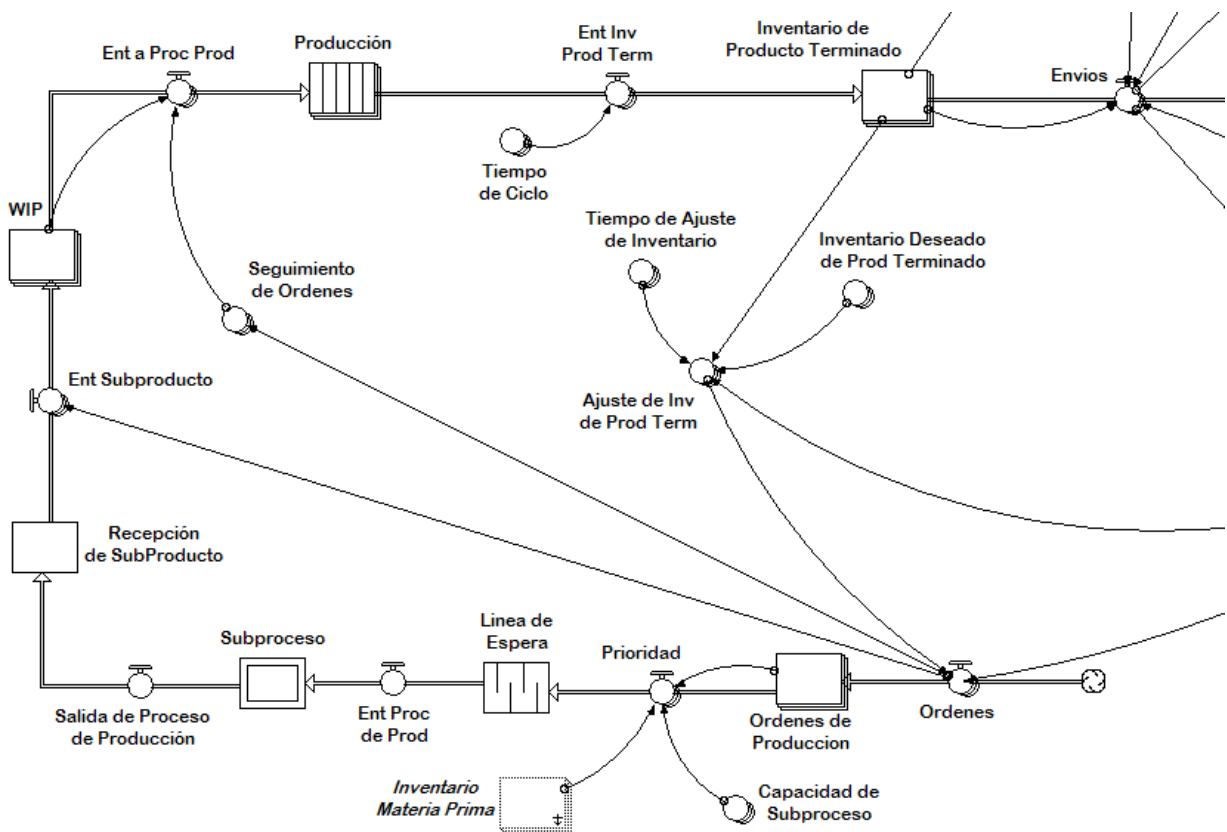


Figura 3.11. Diagrama de Forrester del proceso de producción.

Donde $CapSub$, es la capacidad del subproceso. Conforme las órdenes salen de la línea de espera, pasan al subproceso y posteriormente se acumularán como inventario de producto en proceso (WIP). El cálculo del WIP se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$WIP(t) = WIP(0) + \int_0^t (SubP - EPR)dt \dots\dots\dots (3.8)$$

Siendo $SubP$ los subproductos que se acumulan como WIP y EPR los subproductos que se envían al proceso de producción. Los productos que son manufacturados en el proceso principal de producción, se envían al Inventario de Producto Terminado (IPT).

El ajuste del Inventario de Producto Terminado ($AIPT$), sirve para corregir la diferencia que existe entre el Inventario de Producto Terminado (IPT) y el Inventario Deseado de Producto Terminado ($IDPT$), en un periodo de tiempo, que se le denomina Tiempo de Ajuste del Inventario (TAI). El cálculo de este ajuste, se realiza mediante la siguiente expresión:

$$AIPT = \frac{IDPT - IPT}{TAI} \dots\dots\dots (3.9)$$

El tiempo de ajuste del inventario, influye directamente en la discrepancia que pueda existir entre el inventario de producto terminado y el inventario deseado.

3.5.3.3 Proceso de Distribución.

Con los bucles de retroalimentación, planteados en el diagrama causal del proceso de distribución (figura 3.6), se estructuró el diagrama de Forrester o de flujos de la figura 3.12. Sin embargo, se adicionaron otras variables que tiene como función principal evaluar el cumplimiento de los pedidos a los clientes.

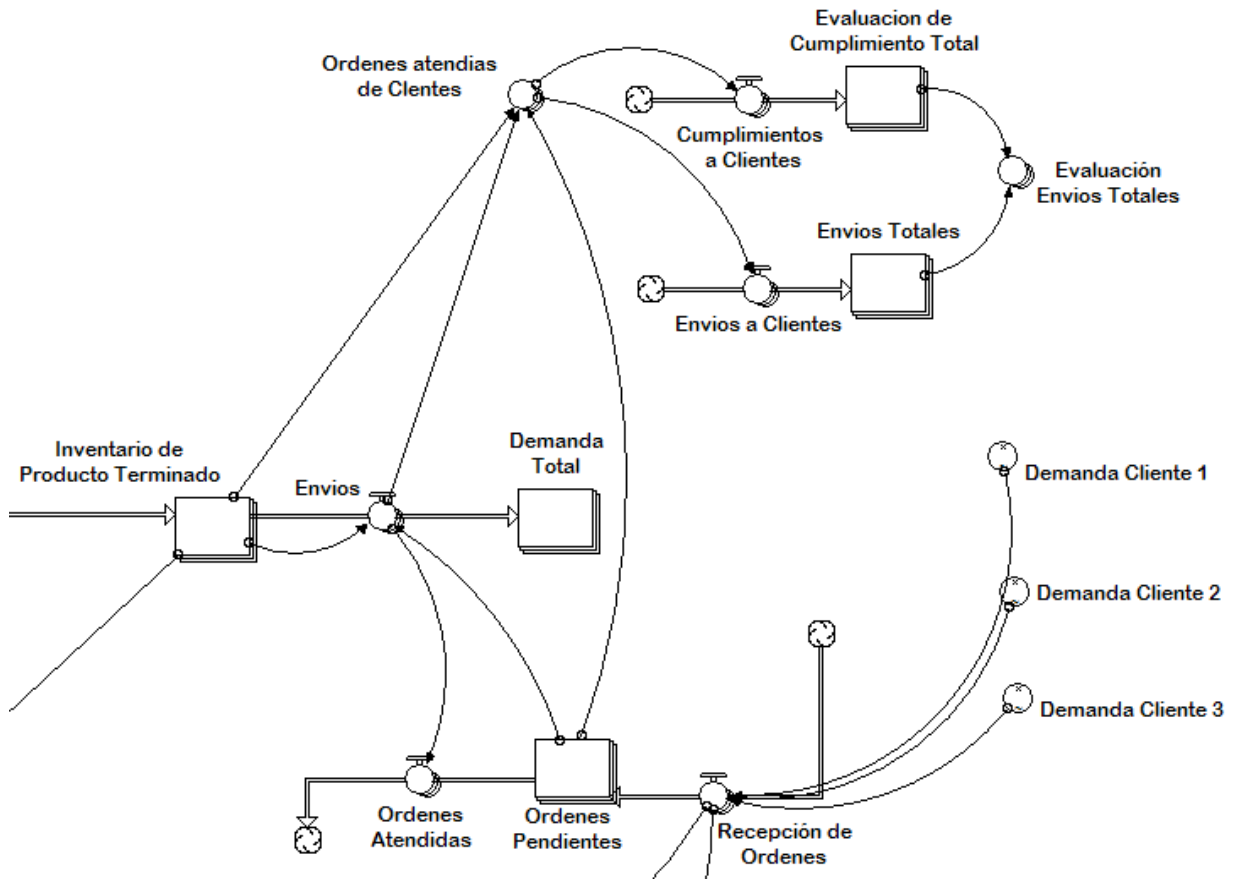


Figura 3.12. Diagrama de Forrester del proceso de distribución.

La demanda total se calcula de la siguiente manera:

$$DT = \sum_{t=1}^T d_s \dots\dots\dots (3.10)$$

Donde:

d_s es la demanda semanal del cliente y T es el total de semanas.

Las órdenes de los clientes (demanda), son recibidas y debido a que se tienen que programar para su producción, se van acumulando en las órdenes pendientes, calculadas con la siguiente ecuación:

$$OP(t) = OP(0) + \int_0^t (RO - OA)dt \dots\dots\dots(3.11)$$

Siendo:

RO como la recepción de las órdenes de los clientes y *OA* las órdenes que han sido atendidas.

Las órdenes que han sido producidas, se envían al inventario de producto terminado (*IPT*), el cual se calcula mediante:

$$IPT(t) = IPT(0) + \int_0^t (PT - ENV) dt \dots\dots\dots (3.12)$$

Donde:

PT son los productos finales y que son enviados al inventario de producto terminado y *ENV*, son los envíos que se hacen al cliente.

Con las ecuaciones y los diagramas de Forrester definidos, se procedió a realizar corridas de prueba, para analizar que el sistema tenía el comportamiento esperado. En el siguiente capítulo, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de este sistema de evaluación logística en la empresa CIFUNSA planta 3, que es proveedor de primer nivel del CARSC.

3.6 Conclusiones.

En este capítulo, se presentó la metodología de investigación utilizada para desarrollar un modelo dinámico de evaluación logística, que bajo un enfoque de investigación abductiva, permitió la retroalimentación de la información obtenida de fuentes primarias y secundarias, lo cual robusteció la metodología.

El sistema de dinámico de evaluación logística, se desarrollo empleando la metodología de Dinámica de Sistemas, que fue seleccionada después de una amplia revisión bibliográfica, en la que se analizaron diferentes metodologías de simulación que han sido utilizadas en en el estudio y análisis de la administración de las cadenas de suministro, como son la Modelación Basada en Agentes (ABS), Simulación de Eventos Discretos (DES) y Heurísticas. Sin embargo, debido a los objetivos planteados, como el análisis sistémico de los factores que influyen en la competitividad de las cadenas de suministro, la metodología de Dinámica de Sistemas, fue la adecuada.

Así mismo, se delimitaron los procesos logísticos que analiza el sistema de evaluación, que son: *aprovisionamiento, producción y distribución*. Se identificaron las variables exógenas y endógenas del sistema, se establecieron las ecuaciones y se definieron los diagramas de flujo o de Forrester para realizar el sistema de simulación.

Las hipótesis dinámicas que permiten comprender la estructura del sistema, se plantearon mediante los diagramas causales de los procesos de la cadena de suministro, que por su transparencia, ayudan en el análisis y comprensión de las retroalimentaciones que existen entre las principales variables del sistema. Estos diagramas causales, también se utilizaron para estructurar los diagramas de Forrester en el software de simulación.

Capítulo 4.

Análisis de los Resultados de la Validación y Aplicación del Sistema.

4.1 Introducción.

El cuarto paso de la metodología de Dinámica de Sistemas (Sterman, 2000), y uno de los más importantes son las pruebas de validación que se deben realizar al modelo, para verificar que puede ser utilizado en el análisis del sistema bajo estudio (Grčić y Munitić, 1996). Este paso de la metodología de Dinámica de Sistemas, es la segunda etapa de la metodología del proceso de investigación.

En el presente capítulo, se detallan las pruebas de validación realizadas al sistema de evaluación logística, como: la prueba de políticas extremas (Forrester y Senge, 1985) y diseño de experimentos (Mongotmey, 1991), cuyo objetivo es determinar la confiabilidad del modelo en su aplicación de campo. La primera prueba, se utiliza para validar que la respuesta del sistema este dentro de un rango de valores y que este sea el esperado, por su parte el diseño de experimentos se emplea para determinar que variables y sus interacciones inciden en la respuesta del sistema. Es importante mencionar, que la literatura consultada indica que los diseños de experimentos, como pruebas de validación en modelos desarrollados en Dinámica de Sistemas, han sido poco utilizados, pero que es recomendable su uso, debido a la confiabilidad estadística que se obtiene.

Aunque existen diferentes softwares especializados en la modelación y simulación en Dinámica de Sistemas, se seleccionó el software STELLA Versión 9.1.3[®] para la simulación del sistema, por su fortaleza en el desarrollo de interfaces gráficas con el usuario, además de que permite una interacción directa con datos de Excel[®].

Para la aplicación y validación del sistema en campo, se realizaron visitas e invitaciones a diferentes empresas del CARSC; sin embargo, sólo se logro el apoyo de la empresa CIFUNSA Planta 3, que es proveedor de primer nivel de cadenas de suministro automotrices. El sistema de evaluación, se utilizó para analizar los procesos logísticos de la cadena de suministro de dos productos, que son suministrados a Chrysler (Planta Saltillo) y Volksvagen (Planta Puebla). Los resultados obtenidos de la aplicación y validación del sistema en esta empresa, son presentados mediante tablas y gráficas.

4.2 Software de Simulación y Pruebas Iniciales.

El software de simulación que se utilizó para desarrollar el sistema de simulación fue **STELLA** (System Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation) Versión 9.1.3[®] (iseesystems, 2010). Aunque existe diferentes tipos de software, para la simulación de sistemas desarrollados en Dinámica de Sistemas como **Vensim**[®] (Vensim, 2010), **PowerSim**[®] (Powersim, 2010) y **AnyLogic**[®] (Xjtek, 2010).

Se eligió a STELLA[®] debido a que en la estructuración de los sistemas es amigable con el usuario y su interface gráfica permite una mejor interacción con el sistema, además la fortaleza de sus gráficas y tablas en el análisis y visualización de los resultados (Cedillo, Sánchez, 2008).

Una de las pruebas que propone Forrester y Senge (1980), para la validación de los sistemas desarrollados en Dinámica de Sistemas es la *Prueba de Política Extrema*, la cual permite identificar el comportamiento del sistema bajo a ciertos valores. Por ejemplo, que pasaría si la demanda de los clientes es cero, de acuerdo a la estructura de los lazos de retroalimentación (**R1**) y (**B1**), no habría órdenes pendientes, por lo tanto el proceso de producción se mantendría en cero y el inventario de producto terminado sería cero también.

Para analizar la prueba de política extrema, en la tabla 4.1, se presentan los valores que se utilizaron como entrada del sistema (demanda cliente 1). Los resultados obtenidos en el sistema de evaluación fueron los siguientes: las órdenes pendientes son cero; no se genera algún WIP; como no hay consumo de materia prima, el inventario de esta permanece igual; y tanto el inventario de producto terminado como los envíos al cliente, son cero.

Esta prueba permitió analizar el comportamiento del sistema de evaluación bajo una condición de cero demanda y con ello verificar que el sistema se comportaba correctamente. Si se hubiese generado algún dato diferente a los antes mencionados en alguna de las variables endógenas del sistema, entonces el sistema tendría que ser revisado y estructurado nuevamente. El sistema se simuló durante 52 semanas.

En la figura 4.1, se presentan los resultados obtenidos de esta política en el software de simulación donde se desarrollo el sistema. Para verificar que este comportamiento, era idéntico para los otros dos clientes, se consideró

como entrada del sistema las demandas del cliente 2 y 3 con un valor de cero, y se realizó la simulación, observándose un comportamiento similar que en el caso del cliente 1 (ver figura 4.2).

Los resultados de esta prueba inicial fueron satisfactorios. El siguiente paso, era su validación en una cadena de suministro automotriz. Como se mencionó anteriormente, la empresa que permitió validar el sistema en sus procesos logísticos fue CIFUNSA Planta 3.

Tabla 4.1 Valores iniciales de simulación para evaluar la política extrema (cliente 1)

Variable	Valores Iniciales	Resultados
Demanda de Cliente 1	0 pzas.	-
Ordenes Pendientes	0 pzas	0 pzas
WIP	0 pzas.	0 pzas.
Inventario de Materia Prima	15000 pzas	15000 pzas
Capacidad de Producción	200 pzs/hr	-
Inventario de Producto Terminado	0 pzas	0 pzas.
Número de Pedidos a Proveedores	0	0

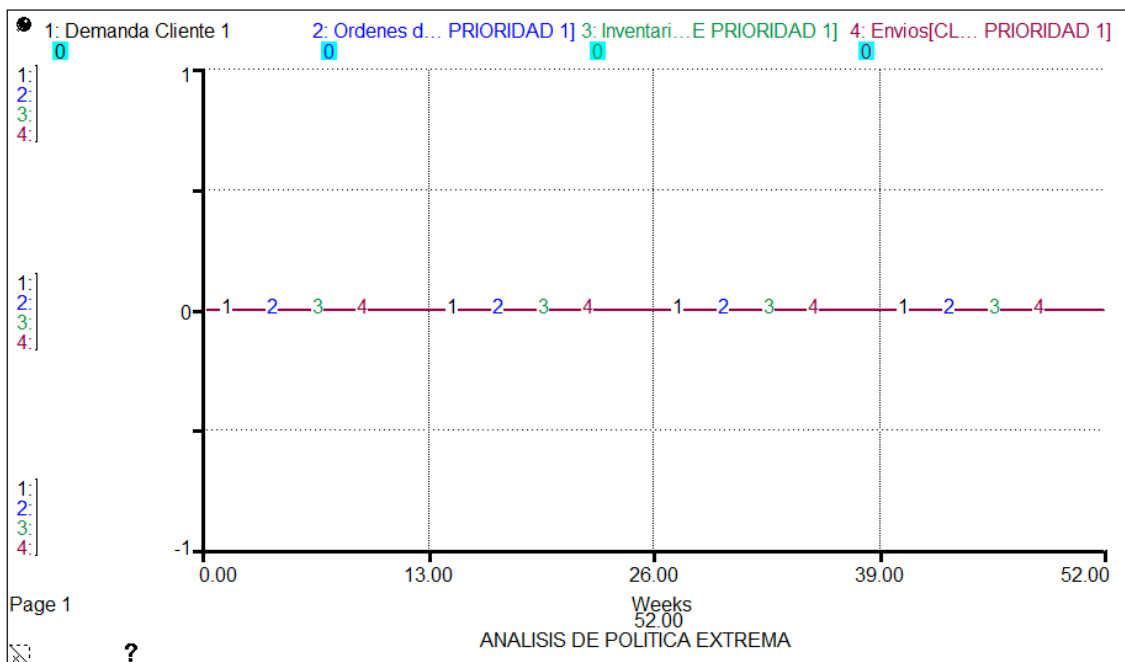


Figura 4.1 Comportamiento del sistema con demanda de cero, en el cliente 1.

Table 1 (ANALISIS DE POLITICA EXTREMA)						?
Weeks	0	1	2	3	4	
Demanda Cliente 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ordenes Pendientes[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ordenes de Produccion[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Linea de Espera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Subproceso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Inventario Materia Prima[MATERIA PRIMA 1]	15,000.00	15,000.00	15,000.00	15,000.00	15,000.00	
Proceso de Revision	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
WIP[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Producción[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Inventario de Producto Terminado[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Envios[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Demanda Cliente 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ordenes Pendientes[CLIENTE PRIORIDAD 2]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ordenes de Produccion[CLIENTE PRIORIDAD 2]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
WIP[CLIENTE PRIORIDAD 2]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Inventario Materia Prima[MATERIA PRIMA 2]	15,000.00	15,000.00	15,000.00	15,000.00	15,000.00	
Producción[CLIENTE PRIORIDAD 2]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Inventario de Producto Terminado[CLIENTE PRIORIDAD 2]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Envios[CLIENTE PRIORIDAD 2]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Demanda Cliente 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ordenes Pendientes[CLIENTE PRIORIDAD 3]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ordenes de Produccion[CLIENTE PRIORIDAD 3]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
WIP[CLIENTE PRIORIDAD 3]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Producción[CLIENTE PRIORIDAD 3]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Inventario Materia Prima[MATERIA PRIMA 3]	15,000.00	15,000.00	15,000.00	15,000.00	15,000.00	
Envios[CLIENTE PRIORIDAD 3]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Inventario de Producto Terminado[CLIENTE PRIORIDAD 3]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Figura 4.2 Simulación del sistema con demanda cero para los tres clientes.

4.3 Validación del Sistema en CIFUNSA Planta 3.

CIFUNSA es una empresa que pertenece al Grupo Industrial Saltillo (GIS), cuya principal actividad es la fundición de hierro, y por su capacidad de producción esta considerada entre las más grandes del mundo. En la industria automotriz, es reconocida internacionalmente por ser proveedor de monoblocks y cabezas de hierro gris, para motores de gasolina y diesel; así como de piezas ligeras de autopartes (ver figura 4.3). Tiene una participación importante en el mercado del NAFTA y entre sus principales clientes destacan: General Motors, Chrysler, Toyota, Ford y Volkswagen (CIFUNSA, 2010). Es proveedor de primer nivel de las empresas núcleo del Cluster Automotriz de la Región Sureste de Coahuila.

Esta ubicada en el Boulevard Isidro López Zertuche # 4003, en la zona industrial de la ciudad de Saltillo, Coahuila.

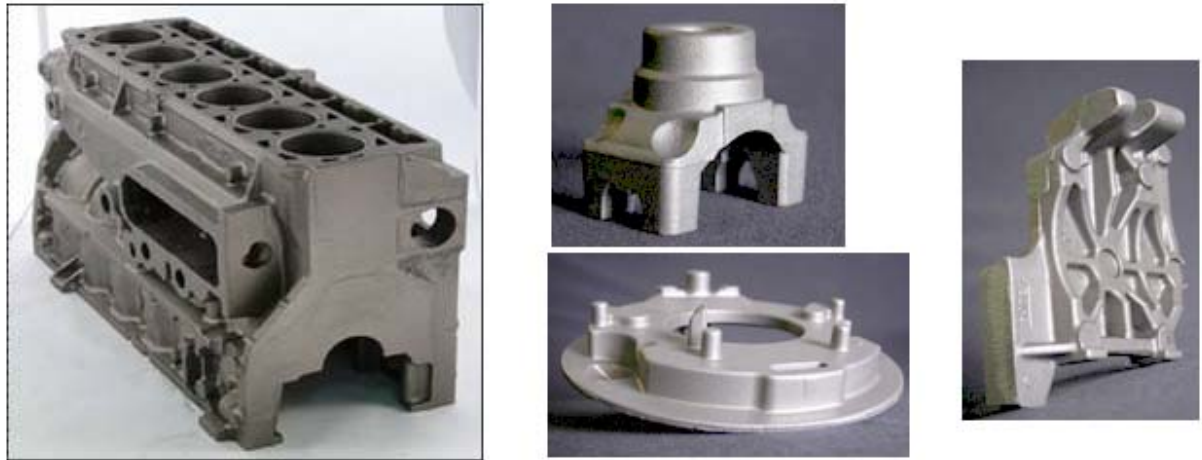


Figura 4.3 Productos que provee CIFUNSA a la Industria Automotriz
(Fuente: www.cifunsa.com.mx)

Para la validación del sistema, se realizaron diferentes visitas a la empresa CIFUNSA, con el objetivo de identificar sus procesos. Como el sistema estaba estructurado para analizar los procesos logísticos en unidades de tiempo de una semana, y los procesos en CIFUNSA eran definidos en horas (órdenes de producción, capacidades en máquinas, etc.), se realizaron las modificaciones pertinentes al sistema para su aplicación en la empresa. Para analizar el sistema en horas, se agregó un contador que permite monitorear los siete días de la semana, las 24 horas. Sin embargo, se asume que los pedidos pueden ser programados de lunes a viernes, sábados y domingos no labora la empresa.

Dado que el software STELLA[®], permite la vinculación con archivos de Excel[®], se diseñó una hoja (ver figura 4.4), *con la información referente al día y hora en que se programan las órdenes de los clientes para que su producción. En esta hoja también se puede establecer la fecha de entrega del pedido y en base a las capacidades del proceso de la empresa, identificar si la orden podrá ser enviada a tiempo.*

	DIAS SEMANA	HORAS	Demanda Cliente 1	Fecha de Entrega C1	Demanda Cliente 2	Fecha de Entrega C2	Demanda Cliente 3	Fecha de Entrega C3
0	LUNES	12:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
1		01:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
2		02:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
3		03:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
4		04:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
5		05:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
6		06:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
7		07:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
8		08:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
9		09:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
10		10:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
11		11:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
12		12:00 p.m.	0	0	0	0	0	0
13		01:00 p.m.	0	0	0	0	0	0
14		02:00 p.m.	0	0	0	0	0	0
15		03:00 p.m.	0	0	0	0	0	0
16		04:00 p.m.	0	0	0	0	0	0
17		05:00 p.m.	0	0	0	0	0	0
18		06:00 p.m.	0	0	0	0	0	0
19		07:00 p.m.	0	0	0	0	0	0

Figura 4.4 Diseño de la hoja de Excel® para la interacción con el sistema en STELLA®

Para verificar los cambios realizados al sistema, antes de validarlo con los datos reales de los clientes de CIFUNSA, se consideró como entrada del sistema al cliente 1, un pedido de 1000 piezas que se programaron a las 7 de la mañana del día lunes para iniciar su producción y la fecha de entrega de este pedido sería 48 horas después (*en la empresa considerarán que el pedido esta listo para su envío, cuando ingresa al almacén de producto terminado, debido a que el transporte es por parte de los clientes*). En este caso para el cliente 2 y 3 no se programan órdenes (ver figura 4.5).

El horizonte de simulación fue de una semana (168 horas). En la tabla 4.2 y figura 4.6, se presentan los datos iniciales y los resultados obtenidos en la simulación de este escenario. El sistema considera los supuestos planteados en el capítulo 3; el tiempo de ciclo en el subproceso es de una hora, el proceso de inspección también es de una hora y se acumulan como inventario de producto en proceso (WIP). La siguiente actividad es el proceso principal de producción donde el tiempo de ciclo para este producto es de cinco horas.

Se programan las 1000 piezas del pedido del cliente 1, el día lunes a las 7:00 am. Las órdenes de producción consideran el ajuste en el inventario de producto terminado, por lo cual, la orden se incrementa en 125 unidades, siendo 1,125 piezas las que deberán producirse. Como la capacidad del subproceso de producción es de 200 piezas por hora, se observa un

decremento de 200 unidades cada hora en las órdenes de producción. El movimiento de las piezas en el proceso de revisión, WIP y proceso principal de producción, se analiza hora por hora y es de lotes de 200 piezas, debido a la restricción del subproceso (ver figura 4.7). Los resultados obtenidos de la simulación, indican que el pedido estaría finalizándose en la hora 42 (martes 6:00 pm), por lo que se podría cumplir a tiempo con el pedido del cliente, que lo requería 48 horas después de programada la orden.

DIA	HORA	Demanda Cliente 1	Fecha de Entrega C1	Demanda Cliente 2	Fecha de Entrega C2
1	LUNES	12:00 a.m.	0	0	0
		01:00 a.m.	0	0	0
		02:00 a.m.	0	0	0
		03:00 a.m.	0	0	0
		04:00 a.m.	0	0	0
		05:00 a.m.	0	0	0
		06:00 a.m.	0	0	0
		07:00 a.m.	1000	48	0
		08:00 a.m.	0	0	0
		09:00 a.m.	0	0	0
		10:00 a.m.	0	0	0
		11:00 a.m.	0	0	0
		12:00 p.m.	0	0	0
		01:00 p.m.	0	0	0
		02:00 p.m.	0	0	0
		03:00 p.m.	0	0	0
		04:00 p.m.	0	0	0
		05:00 p.m.	0	0	0
		06:00 p.m.	0	0	0

Figura 4.5 Programación del pedido del cliente 1 y fecha de entrega.

Tabla 4.2 Valores iniciales para la demanda del cliente 1.

Variable	Valores Iniciales	Resultados
Demanda de Cliente	1000 pzas.	-
Ordenes Pendientes	0 pzas	0 pzas
WIP	0 pzas.	0 pzas.
Inventario de Materia Prima	15000 pzas	13825 pzas
Capacidad de Producción	200 pzs/hr	-
Inventario de Producto Terminado	0 pzas	125 pzas.
Número de Pedidos a Proveedores	0	0
Tiempo de Ciclo	5 hrs	0
Ordenes Atendidas en Tiempo	-	100%

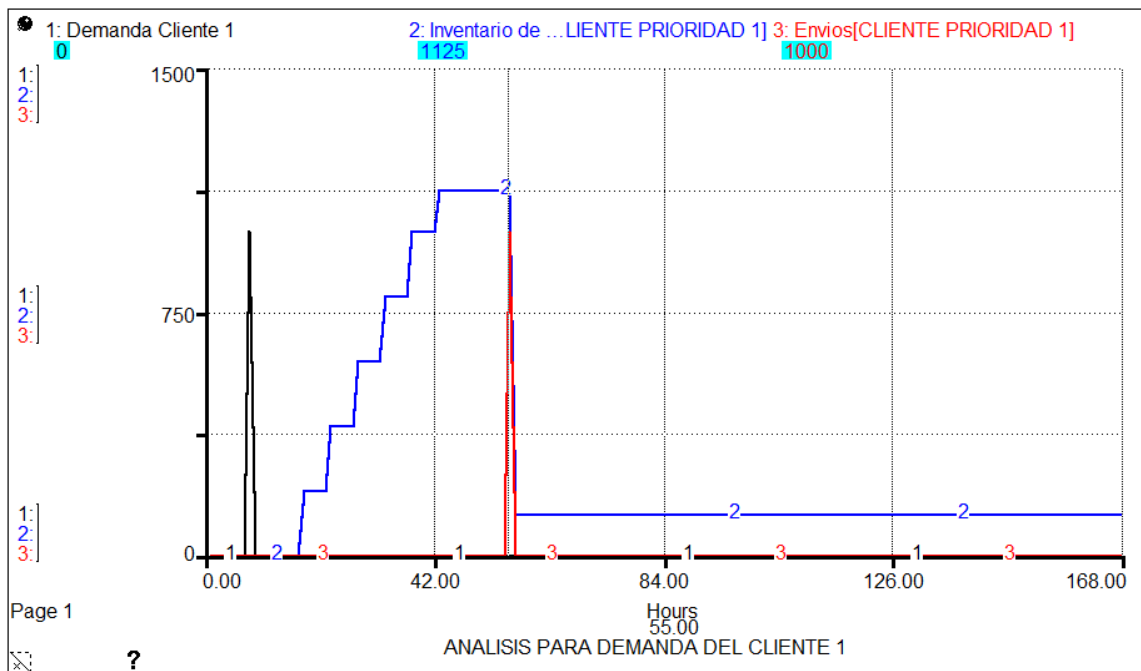


Figura 4.6 Análisis gráfico de la demanda del cliente 1

Table 1 (ANÁLISIS DE LA DEMANDA CLIENTE 1)							
Hours	6	7	8	9	10	11	12
Demanda Cliente 1	0.00	1,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recepción de Ordenes[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	1,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ordenes Pendientes[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00
Ordenes[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	1,125.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ordenes de Produccion[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	1,125.00	925.00	725.00	525.00	325.00
Línea de Espera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Subproceso	0.00	0.00	0.00	200.00	200.00	200.00	200.00
Proceso de Revision	0.00	0.00	0.00	0.00	200.00	200.00	200.00
WIP[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	200.00	200.00
Producción[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	200.00
Inventario de Producto Terminado[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Envíos[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 4.7 Análisis detallado del comportamiento del sistema

Como *Indicador Clave de Desempeño (Key Performance Indicator, KPI)* del sistema, se consideraron las **órdenes atendidas en tiempo**, por lo que fue necesario agregar otra estructura en el sistema de simulación (ver figura 4.8). Las variables que se consideran en este indicador son: *fecha de entrega, demanda del cliente, contador de horas, fecha programada de envío, seguimiento de entrega, fecha de entrega, evaluación del cumplimiento de órdenes atendidas, envíos en tiempo y evaluación total*. También se considera un costo por penalización sobre las piezas no entregadas.

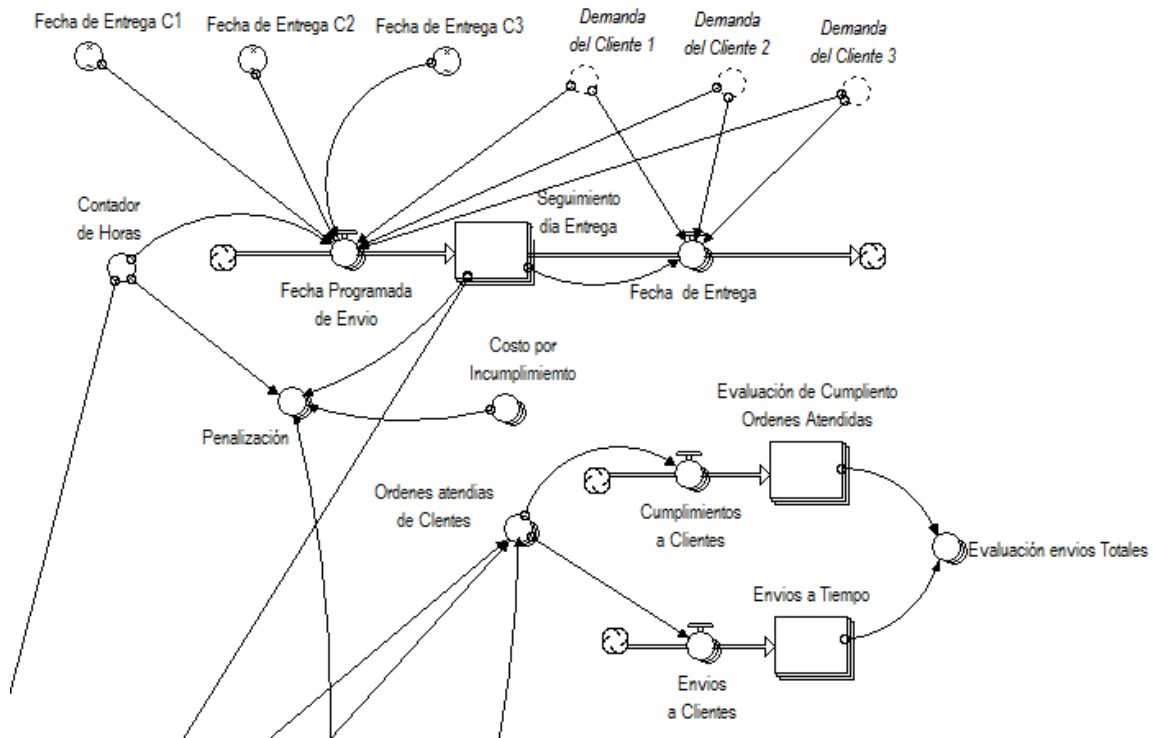


Figura 4.8 Subsistema para la evaluación del cumplimiento de las órdenes del cliente

En el subsistema de la figura 4.8, la variable *fecha programada de envío* captura la hora en que programa la orden para su producción y es almacenada en la variable de estado *seguimiento de entrega*. La política de envíos de las órdenes, es que el *tiempo de entrega* es mandatorio sobre la cantidad disponible de inventario de producto terminado. Esto es, si el tiempo de entrega se ha cumplido y en el inventario de producto terminado no está la orden completa, se deberá realizar el envío al cliente de lo que hay disponible en el almacén, pero se tendrá una penalización por piezas no entregadas a tiempo.

Por ejemplo, considerando los datos de la tabla 4.2, si a la hora 55 (*hora en que el pedido debe estar en el inventario de producto terminado*), sólo hay 800 piezas de una orden de 1000 piezas, entonces el cumplimiento de esa orden será del 80%. Sin embargo, en el caso simulado, en la hora 42 ya se tenían las 1000 piezas siendo el porcentaje de cumplimiento para esta orden del 100%, aunque el porcentaje de evaluación se observa en la hora 56, una vez que ha sido recibido por el cliente (ver figura 4.9).

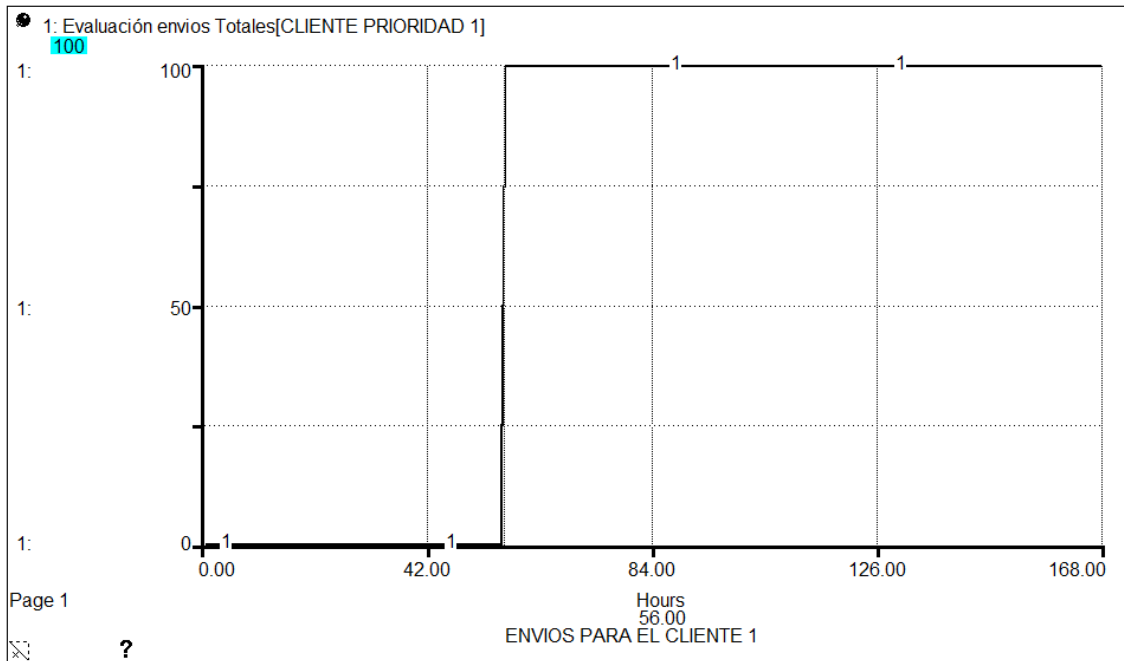


Figura 4.9 Porcentaje de cumplimiento para las órdenes del cliente 1.

El modelo analiza también, el comportamiento del inventario de materia prima de cada uno de los tres proveedores. Debido a la relación 1 a 1 (supuesto considerado en el sistema, donde por cada pieza manufacturada se consume una pieza de cada materia prima), se observa que en el inventario de materia prima habrá 13,875 unidades al final de la simulación, de un total inicial de 15,000 unidades (ver figura 4.10).

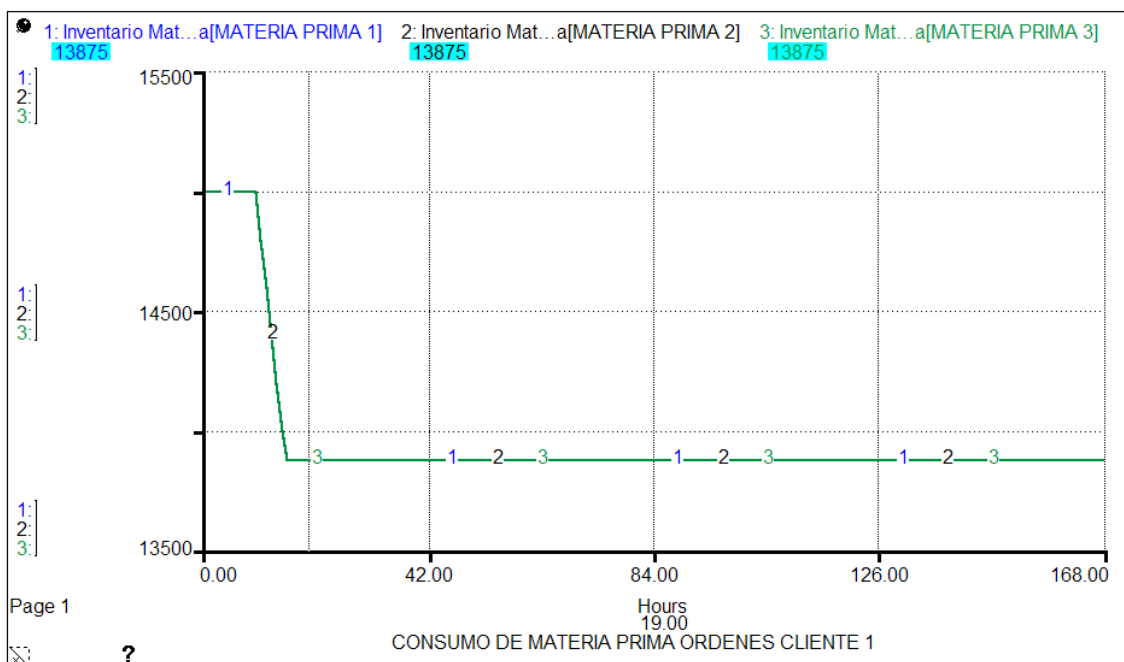


Figura 4.10 Comportamiento del inventario de materia prima.

Una de las fortalezas de los modelos realizados en Dinámica de Sistemas, es que permite analizar diferentes escenarios y responder a la pregunta *¿Qué pasa si?* (Barlas, 2002).

En este sentido, se analizó en el sistema que pasaría en el cumplimiento de las órdenes, si se modificaba el tiempo de ciclo del proceso de producción de 5 horas a 10 horas. Los resultados de esta modificación, indicaron que se tendría un cumplimiento del 80%, lo cual indicaría que de las 1000 piezas, sólo se podrían tener disponibles 800 piezas en la fecha de entrega (figuras 4.11 y 4.12).

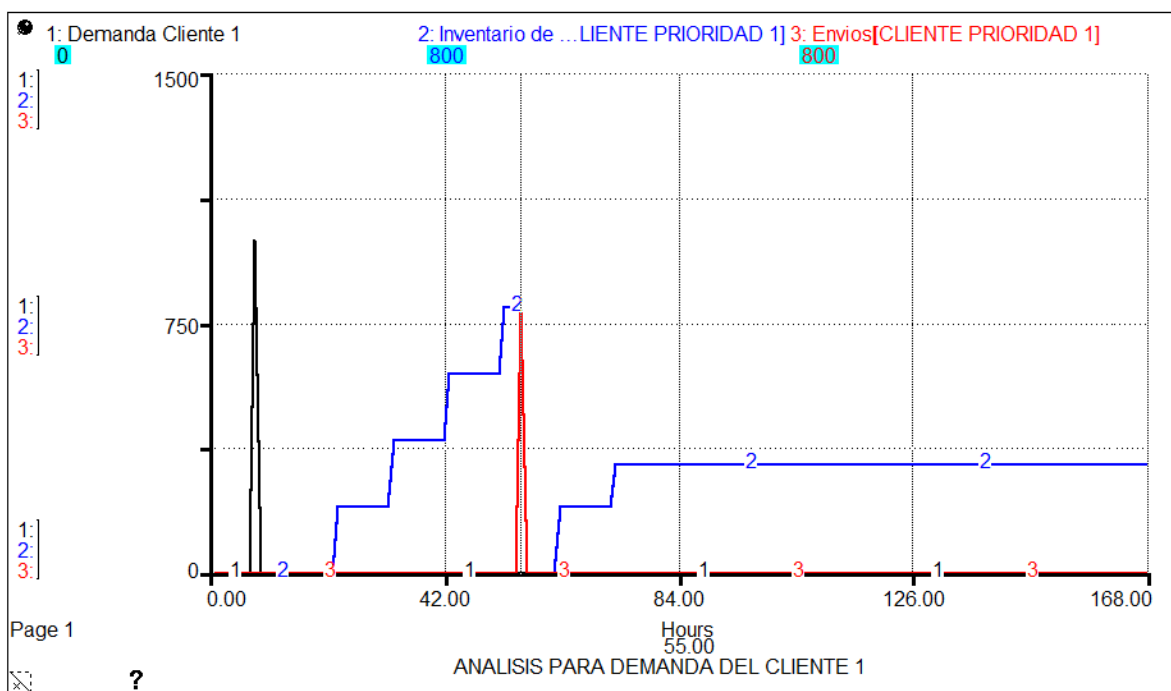


Figura 4.11 Comportamiento de los envíos con un tiempo de ciclo de 10 horas.

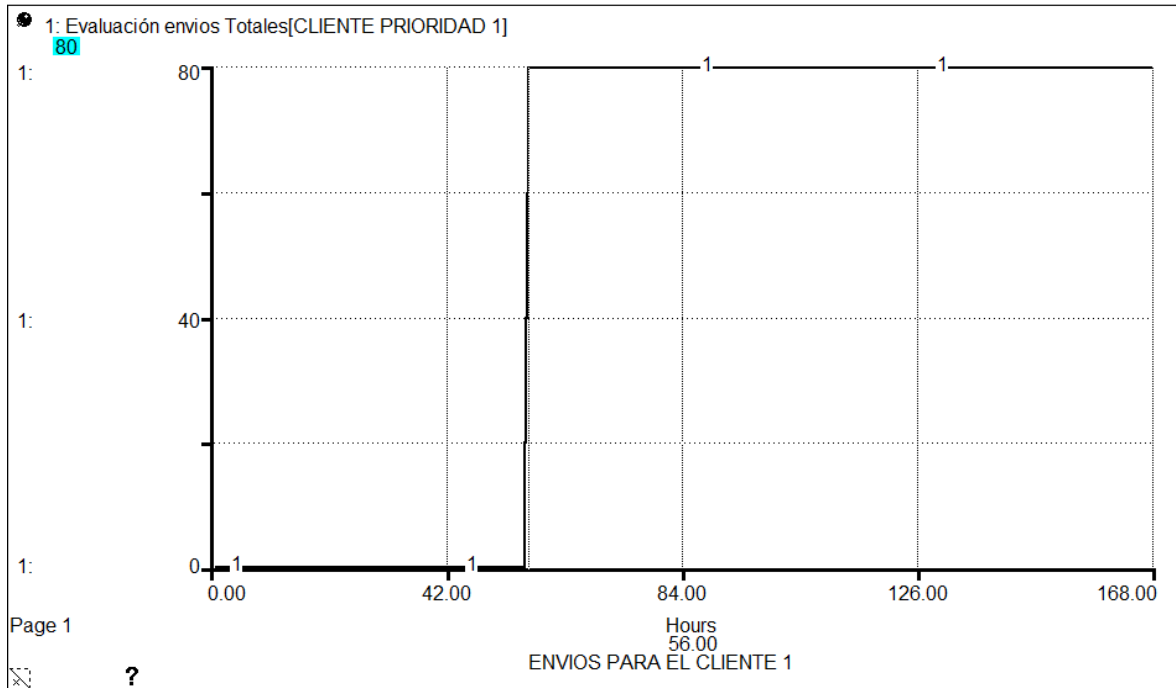


Figura 4.12 Cumplimiento del 80% de las órdenes con un tiempo de ciclo de 10 horas.

El comportamiento del sistema ha sido analizado con un sólo cliente; sin embargo, el sistema se diseñó para evaluar tres clientes. Para verificar el comportamiento del sistema con una demanda adicional, se consideró también la demanda del cliente 2, como entrada del sistema. Los valores para evaluar este escenario, fueron: *demanda cliente 1, 1000 piezas con un tiempo de entrega de 48 horas; demanda cliente 2, 1000 piezas y 48 horas como tiempo de entrega. La orden del cliente 1, fue programada a las 7 de la mañana y la del cliente dos a las 11 de la mañana del día lunes* (figura 4.13).

DIA	HORA	Demanda Cliente 1	Fecha de Entrega C1	Demanda Cliente 2	Fecha de Entrega C2
1	LUNES	12:00 a.m.	0	0	0
		01:00 a.m.	0	0	0
		02:00 a.m.	0	0	0
		03:00 a.m.	0	0	0
		04:00 a.m.	0	0	0
		05:00 a.m.	0	0	0
		06:00 a.m.	0	0	0
		07:00 a.m.	1000	0	0
		08:00 a.m.	0	0	0
		09:00 a.m.	0	0	0
		10:00 a.m.	0	0	0
		11:00 a.m.	0	1000	48
		12:00 p.m.	0	0	0
		01:00 p.m.	0	0	0
		02:00 p.m.	0	0	0

Figura 4.13 Comportamiento del sistema con las demandas del cliente 1 y 2.

El sistema de evaluación, considera el método FIFO (*Primeras Entradas, Primeras Salidas*, First Input, First Output), para la asignación de prioridades en el programa de producción. Si la demanda del cliente 2, se hubiese programado a las 7 de la mañana y la del cliente 1, a las 11 de la mañana, entonces las prioridades se hubiesen invertido. Las prioridades se pueden asignar desde la programación de los órdenes de producción en la hoja de Excel®.

Los resultados de la simulación (ver figura 4.14), indican que los pedidos de los clientes, se tendrían en el inventario de producto terminado en la fecha acordada, por lo que se cumplirían al 100%. La figura 4.15, muestra parte de la simulación hora por hora.

Como la evaluación de los procesos de la cadena de suministro en CIFUNSA, mediante el sistema se realizaría con dos clientes (Volkswagen y Chrysler), fue la principal razón para evaluar este escenario. Para la validación de la demanda del tercer cliente, se consideró como entrada del sistema, la demanda del cliente 2 y 3, obteniéndose los mismos resultados que el escenario descrito del cliente 1 y 2. En la siguiente sección se presentará la validación del sistema, mediante diseño de experimentos.

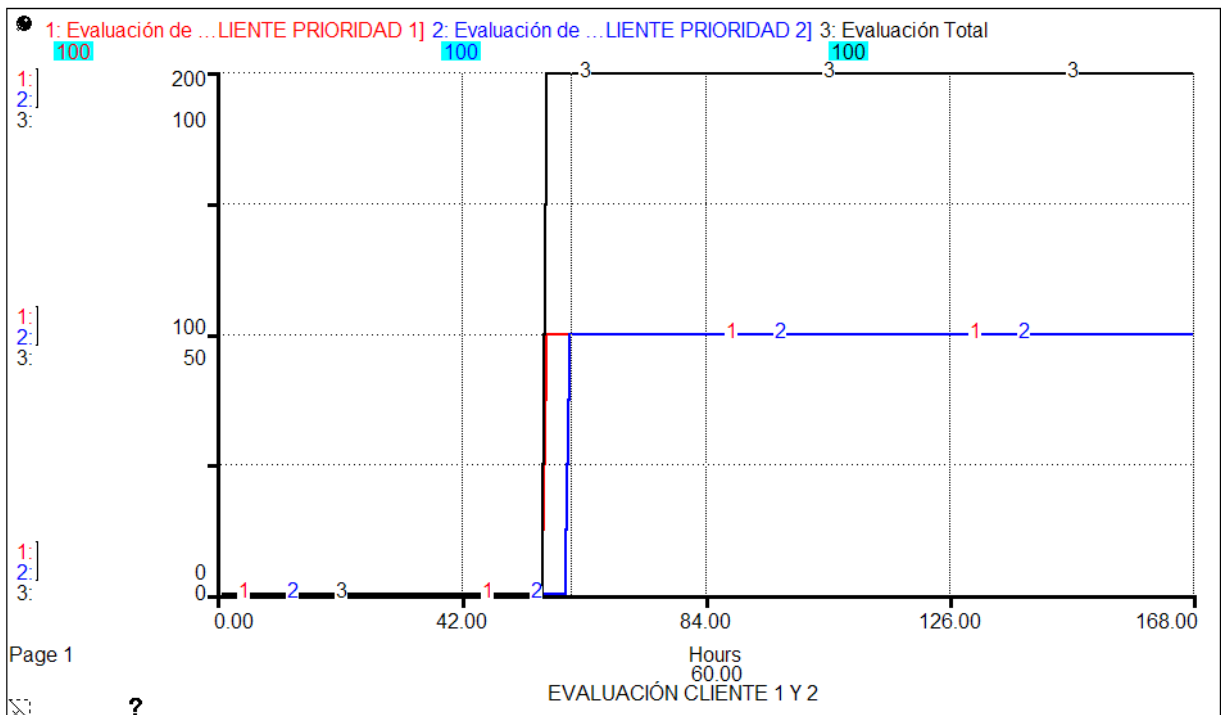


Figura 4.14 Evaluación del cumplimiento del cliente 1 y 2 en horas

Table 1 (ANALISIS DE CLIENTE 1 Y 2)							?
Hours	13	14	15	16	17	18	19
Demanda Cliente 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recepción de Ordenes[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ordenes Pendientes[CLIENTE PRIORIDAD 1]	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00
Ordenes[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ordenes de Produccion[CLIENTE PRIORIDAD 1]	125.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Linea de Espera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Subproceso	200.00	125.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
Proceso de Revision	200.00	200.00	125.00	200.00	200.00	200.00	200.00
WIP[CLIENTE PRIORIDAD 1]	400.00	600.00	800.00	925.00	725.00	725.00	725.00
Producción[CLIENTE PRIORIDAD 1]	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
Inventario de Producto Terminado[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	200.00	200.00	200.00
Envios[CLIENTE PRIORIDAD 1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda Cliente 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recepción de Ordenes[CLIENTE PRIORIDAD 2]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ordenes Pendientes[CLIENTE PRIORIDAD 2]	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00
Ordenes[CLIENTE PRIORIDAD 2]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ordenes de Produccion[CLIENTE PRIORIDAD 2]	1,125.00	1,125.00	925.00	725.00	525.00	325.00	125.00
WIP[CLIENTE PRIORIDAD 2]	0.00	0.00	0.00	0.00	200.00	200.00	400.00
Producción[CLIENTE PRIORIDAD 2]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	200.00	200.00
Inventario de Producto Terminado[CLIENTE PRIORIDAD 2]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Envios[CLIENTE PRIORIDAD 2]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 4.15 Comportamiento del sistema para el cliente 1 y 2 en horas.

4.4 Validación del Sistema con Diseño de Experimentos.

Autores como Forrester y Senge (1980), Barlas (1994, 1996), Barlas et al, 1997 y Kleijnen (1992; 1995, 2005), sugieren la aplicación de técnicas de: analisis de sensibilidad, regresión lineal y diseño de experimentos, para validar los sistemas desarrollados en Dinámica de Sistemas. Sin embargo, es importante mencionar que sólo algunos autores, validan sus sistemas mediante estas técnicas. De la bibliografía consultada, la mayoría de los estudios realizan la validación de los sistemas y modelos, enfocándose en validar la estructura del sistema y su comportamiento.

El diseño de experimentos, es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema. Entre los objetivos del diseño de experimentos están (Montgomery, 1991):

- Determinar cuales variables tienen mayor influencia en la respuesta y;

- Determinar el mejor valor de las x que influyen en y , de modo que y tenga casi siempre un valor cercano al valor nominal deseado;
- Determinar el mejor valor de las x que influyen en y , de modo que la variabilidad de y sea pequeña.

En el sistema de evaluación hay diferentes variables (factores), que pueden afectar el desempeño de la cadena de suministro y principalmente el indicador clave del sistema. Por tal motivo, después de analizar la gama de diseño de experimentos que se podían utilizar, se seleccionó el diseño factorial 2^3 (utilizado en la bibliografía consultada), debido a que se quería analizar el efecto de tres variables de estado en el indicador clave de desempeño.

De acuerdo a Cochran y Cox (1976), algunos casos donde el diseño factorial puede ser adecuado son:

- Trabajos de exploración, donde el objetivo es determinar los efectos de cada cierto número de factores dentro de un intervalo específico;
- En investigaciones de las interacciones entre los efectos de varios factores; y
- En experimentos donde se quiere llegar a recomendaciones que deben aplicarse a una variedad de condiciones.

Las ocho combinaciones de este diseño factorial completo, se muestra en la tabla 4.3. La notación que se empleará para identificar los niveles, es mediante signos “-“ y “+”. El signo negativo “-“ indica el nivel bajo del factor, mientras que el signo “+” indica el nivel alto.

Los factores que se consideraron fueron:

(A) *Inventario de Producto Terminado: 1000 (-) a 3000 (+) Pzas.,*

(B) *Inventario en Proceso (WIP): 500 (-) a 1000 (+) Pzas.,*

(C) *Capacidad de Producción: 100(-) a 400 (+) Pzas/hr.*

En la tabla 4.4, se presentan los resultados obtenidos de las corridas de simulación al sistema de evaluación, del cual se hicieron 3 replicas.

Tabla 4.3 Notación para el diseño de experimentos factorial 2³.

Corrida	A	B	C	Combinaciones de Tratamientos
1	-	-	-	(1)
2	+	-	-	A
3	-	+	-	b
4	+	+	-	ab
5	-	-	+	c
6	+	-	+	ac
7	-	+	+	bc
8	+	+	+	abc

Tabla 4.4 Resultados obtenidos de la corridas del sistema de evaluación de tres replicas

Corrida	A	B	C	Porcentaje de Ordenes Atendidas (%)		
1	-	-	-	38	40	38
2	+	-	-	80	78	78
3	-	+	-	52	48	50
4	+	+	-	88	90	88
5	-	-	+	78	86	82
6	+	-	+	100	100	100
7	-	+	+	82	78	86
8	+	+	+	100	100	100

Con los resultados obtenidos de las corridas realizadas en el sistema de evaluación, se utilizó el software MINITAB® version 15, para realizar el Análisis de Varianza (ANOVA), e identificar los factores y sus interacciones que son significativas.

Los resultados obtenidos en el ANOVA (ver figura 4.16), indican que los efectos principales (factores) por si mismos son significativos, lo cual significa que el inventario de *producto terminado*, *el inventario en proceso* y *la capacidad de producción* tienen influencia sobre el cumplimiento de las órdenes. También son significativas las combinaciones A*C y B*C, pero la combinación de factores A*B y los tres factores A*B*C no son significativas.

Factorial Fit: EVALUACION versus A, B, C

Estimated Effects and Coefficients for EVALUACION (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		77.500	0.4564	169.79	0.000
A	28.667	14.333	0.4564	31.40	0.000
B	5.333	2.667	0.4564	5.84	0.000
C	27.000	13.500	0.4564	29.58	0.000
A*B	-0.333	-0.167	0.4564	-0.37	0.720
A*C	-10.667	-5.333	0.4564	-11.68	0.000
B*C	-5.333	-2.667	0.4564	-5.84	0.000
A*B*C	0.333	0.167	0.4564	0.37	0.720

S = 2.23607 PRESS = 180

R-Sq = 99.23% R-Sq(pred) = 98.27% R-Sq(adj) = 98.90%

Analysis of Variance for EVALUACION (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	9475.3	9475.33	3158.44	631.69	0.000
2-Way Interactions	3	854.0	854.00	284.67	56.93	0.000
3-Way Interactions	1	0.7	0.67	0.67	0.13	0.720
Residual Error	16	80.0	80.00	5.00		
Pure Error	16	80.0	80.00	5.00		
Total	23	10410.0				

Figura 4.16 ANOVA del diseño de experimentos aplicado al sistema de evaluación.

Los resultados del ANOVA, también indican que el coeficiente de determinación múltiple R^2 (99.23%) y el R^2 ajustado (98.90%), que son medidas del análisis de regresión, muestran que el sistema tiene un buen ajuste, lo cual significa que el sistema es confiable para evaluar.

Una vez realizada la validación del sistema con diseño de experimentos, se procedió a la aplicación del mismo, para evaluar los procesos de la cadena de suministro de CIFUNSA. En la siguiente sección se detallan los resultados.

4.5 Evaluación de la Cadena de Suministro de CIFUNSA.

Con el sistema validado, se inició la evaluación de los procesos principales de la cadena de suministro de CIFUNSA. Sin embargo, fueron necesarios unos

ajustes en la estructura del proceso y subproceso de producción. Específicamente, se detallaron todas las actividades del proceso de producción y se sustituyeron por el proceso y subproceso en el sistema de evaluación.

Debido a la reactivación en la producción de la industria automotriz regional, después de la crisis económica de 2008-2009, dos ensambladoras habían reactivado sus pedidos a CIFUNSA, por lo que el personal encargado del área de Logística de la empresa, sugirió que el sistema fuera aplicado a los procesos logísticos de los productos A0022 y A0067 (*Monoblocks*), que son piezas que se producen a Volkswagen y Chrysler respectivamente.

La figuras 4.17 y 4.18, muestran los diagramas de bloques de los procesos para la fabricación de los productos A0022 y A0067, así como las capacidades de producción.

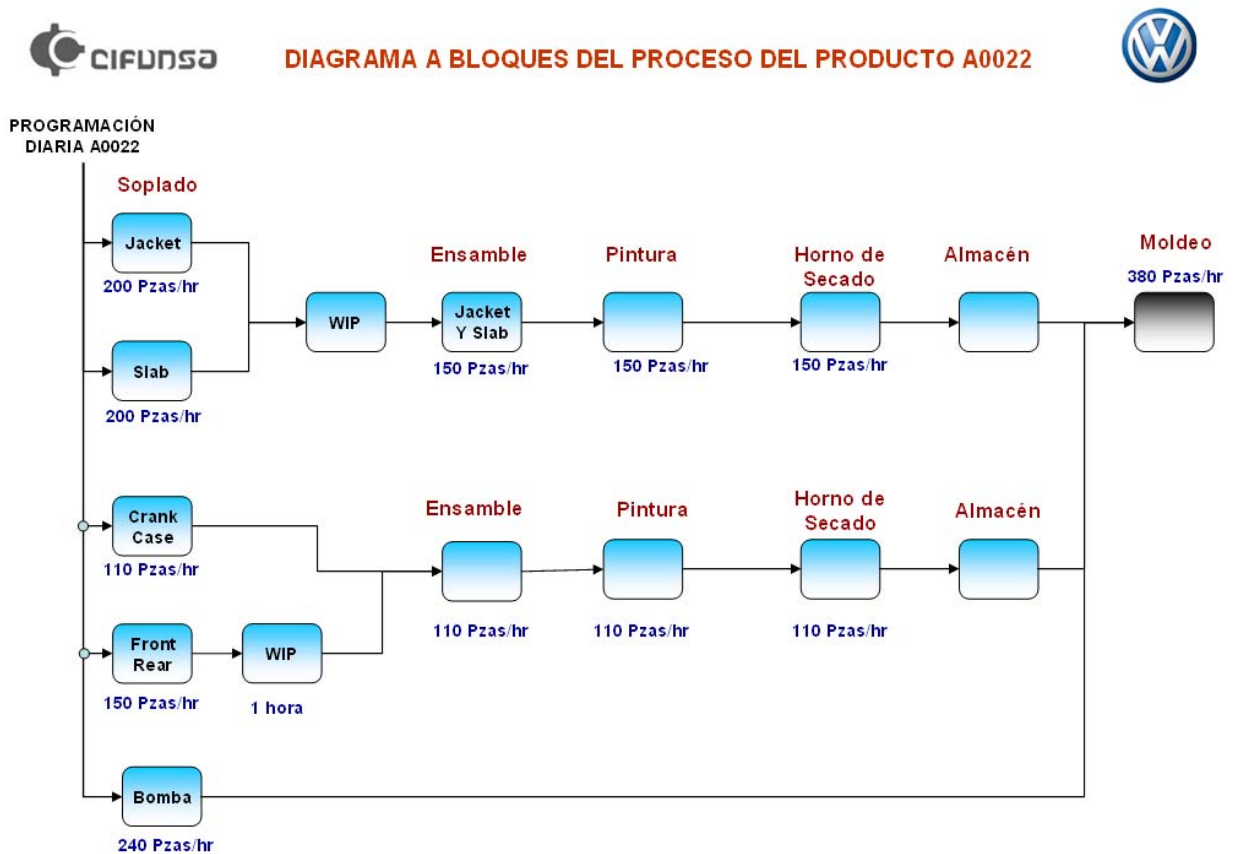


Figura 4.17 Diagrama a bloques del producto A0022.

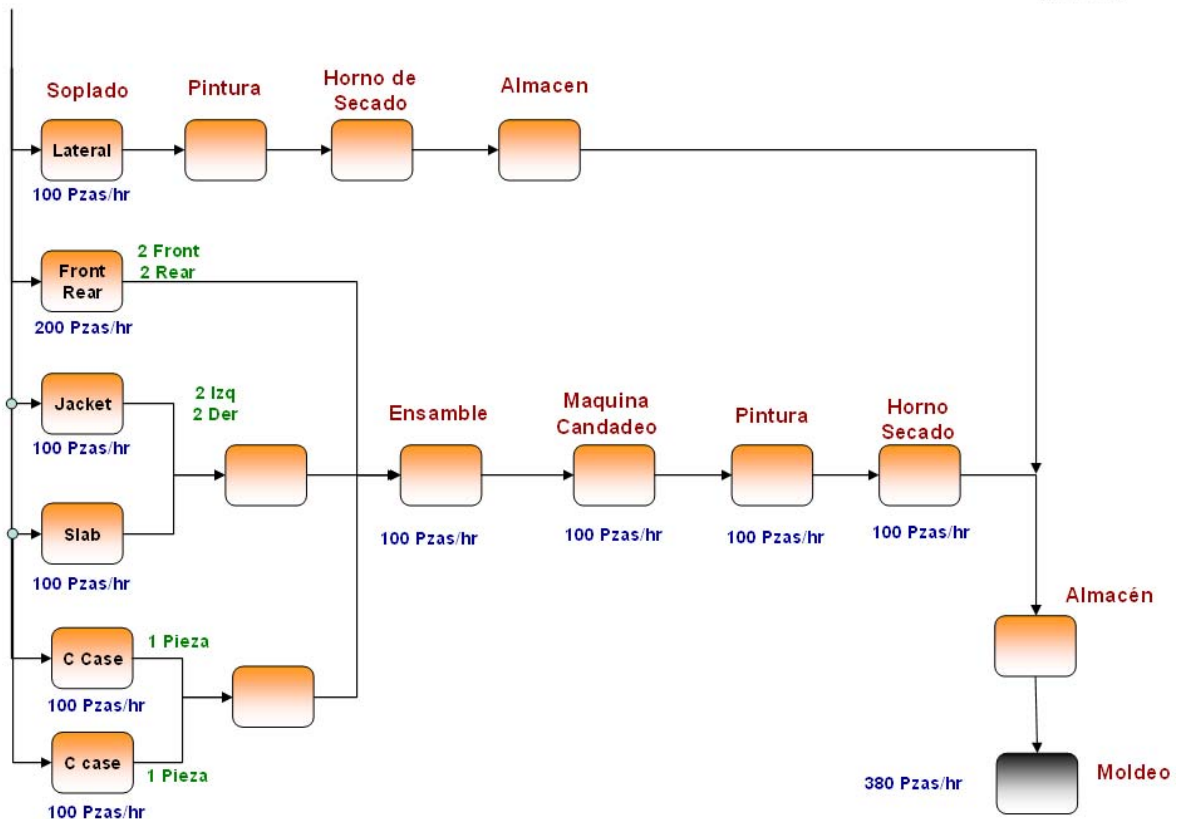


Figura 4.18 Diagrama a bloques del producto A0067.

En la figura 4.19, se muestra el diagrama de Forrester del proceso de *soplado*, donde se realizan los *jackets* y *slabs* del producto A0022. En el diagrama, se observan las variables que analizan la *programación de la producción*, las *capacidades de producción*, el *scrap*, los *inventarios en proceso (WIP)* y los *horarios de trabajo*. Con las piezas terminadas, se realiza una actividad de sub-ensamble que se identifica como *JS*. A la par de este proceso de soplado de *jacket* y *slab*, se realiza el mismo proceso en otras máquinas para la producción de las *bombas*, los *crank case* y los *front rear* que junto al *jacket* y *slab*, son las piezas principales en la construcción de un monoblock.

Con los *crank case* y los *front rear*, también se realiza un sub-ensamble (*CF*). El proceso de *ensamble*, consiste en realizar un paquete con los sub-ensambles *JS*, *CF* y las *bombas* (ver figura 4.20), para que sea moldeado.

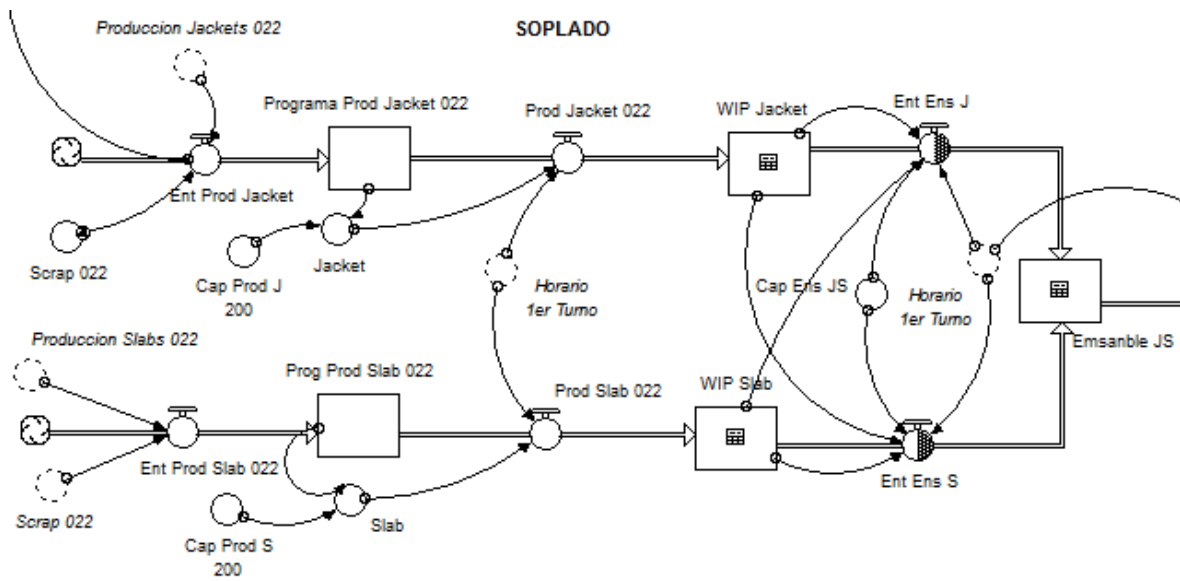


Figura 4.19 Proceso de soplado.

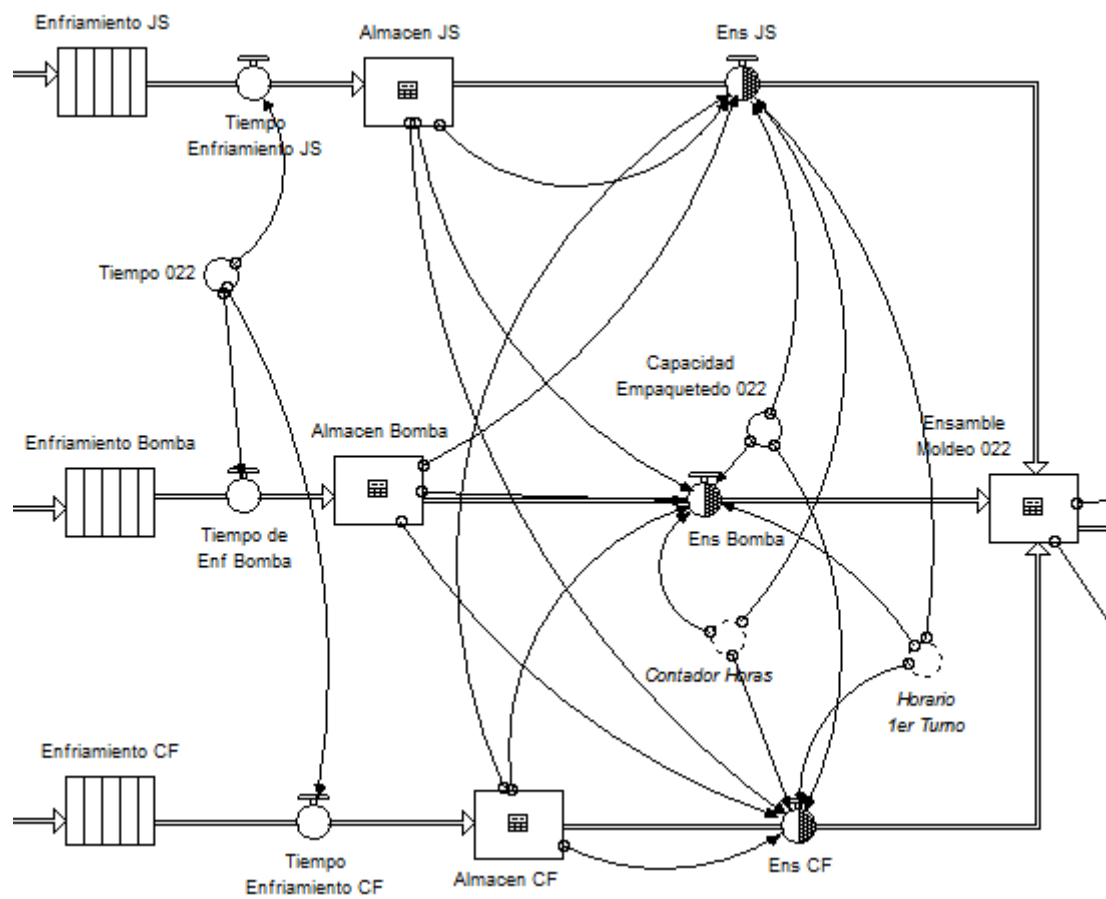


Figura 4.20 Proceso de ensamble.

Después de que se ha hecho el paquete, se procede a la *fundición* de las piezas que se almacenan (*WIP*), para desmoldearlos y pasen a la cadena de enfriamiento (ver figura 4.21).

Después del período de *enfriamiento*, las piezas pasan al proceso de *pintura*. En el proceso de *maquinado*, los operadores revisan las piezas y eliminan los excedentes de material o rebabas de acero del monoblock, realizada esta operación se almacenan como inventario de producto terminado, para su envío al cliente (figura 4.22). Ver Anexo B Ecuaciones del sistema.

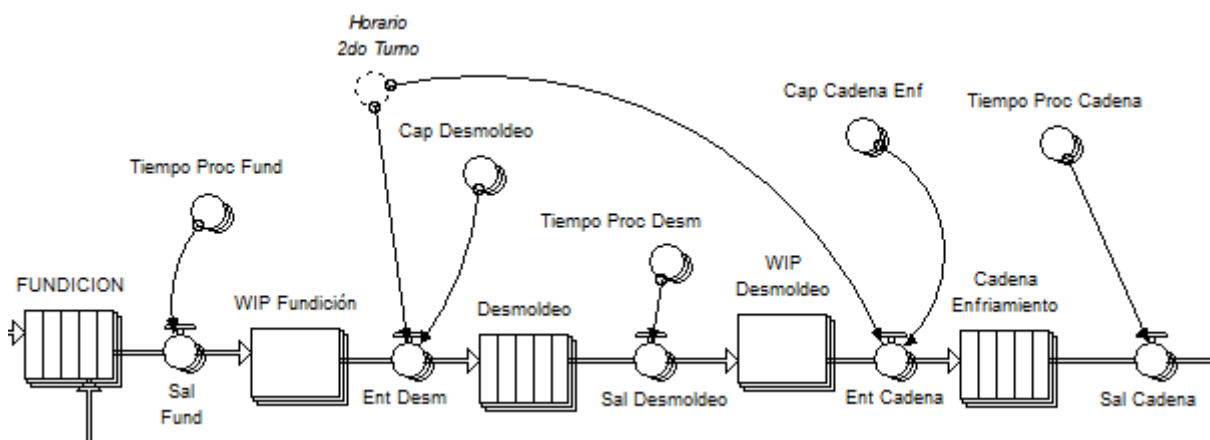


Figura 4.21 Procesos de fundición, desmolde y enfriamiento de piezas.

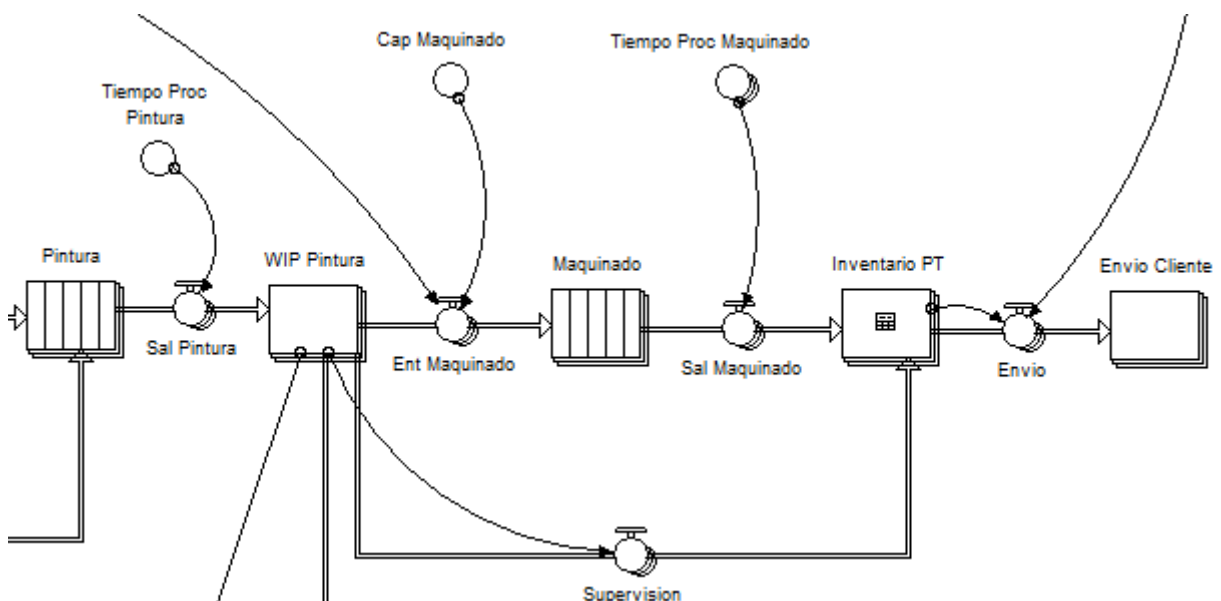


Figura 4.22 Proceso de pintura, maquinado y envío al cliente

Durante la estancia que se realizó en CIFUNSA, se tuvo retroalimentación directa de los encargados del control y supervisión de la fabricación de estas dos piezas, con el objetivo de verificar el comportamiento del sistema y hacer los ajustes necesarios al mismo.

Para la prueba y validación, se programaron 600 piezas del producto A0022 en el sistema de evaluación y se analizaron los resultados obtenidos contra los datos reales que tiene la empresa (ver figura 4.23). En el sistema se consideraron los horarios laborales (*primer y segundo turno*), así como las prioridades y el tiempo de fundición.

De acuerdo a los históricos de la empresa, si se programan 600 piezas del producto A0022, el día lunes a las 6 de la mañana y se consideran *los horarios de trabajo, capacidades de producción en los procesos y tiempos de ciclo, el pedido debe estar listo en el inventario de producto terminado el día miércoles a las 4 de la tarde.*

Los resultados obtenidos con el sistema de evaluación, indican que si se programan estas 600 piezas, en el horario antes mencionado, se tendrá el pedido completo el día miércoles a las 6 de la tarde, existiendo una diferencia de 2 horas, entre los resultados obtenidos con la simulación y los reales que tiene la empresa (ver figura 4.24). Aunque no se definió la fecha de entrega, como dato de entrada del sistema, éste pedido tenía un cumplimiento del 100%, debido a que la fecha de entrega era el día viernes.

El anterior resultado, dió certidumbre a los resultados obtenidos en la validación del sistema mediante el diseño de experimentos. La aproximación de los resultados obtenidos en el sistema de evaluación, respecto a los reales, fue muy cercana. Como trabajo futuro, esta la realización de más pruebas del sistema a otras piezas que fabrica CIFUNSA.

El sistema identificó como cuello de botella al proceso de fundición, debido a que los moldes del A0022, tenían que esperar a que el producto que estaba en el proceso de vaciado del acero terminará su carga, además de que es este proceso sólo tiene ciertas horas asignadas para cada uno de los productos que son fabricados en esta planta.

	DIA	HORAS	PROGRAMACION A0022	PROGRAMACION A0067
1	LUNES.	1	0	0
2		2	0	0
3		3	0	0
4		4	0	0
5		5	0	0
6		6	600	0
7		7	0	0
8		8	0	0
9		9	0	0
10		10	0	0
11		11	0	0
12		12	0	0
13		13	0	0
14		14	0	0
15		15	0	0
16		16	0	0
17		17	0	0
18		18	0	0
19		19	0	0
20		20	0	0
21		21	0	0
22		22	0	0
23		23	0	0

Figura 4.23 Demanda semanal del producto A0022.

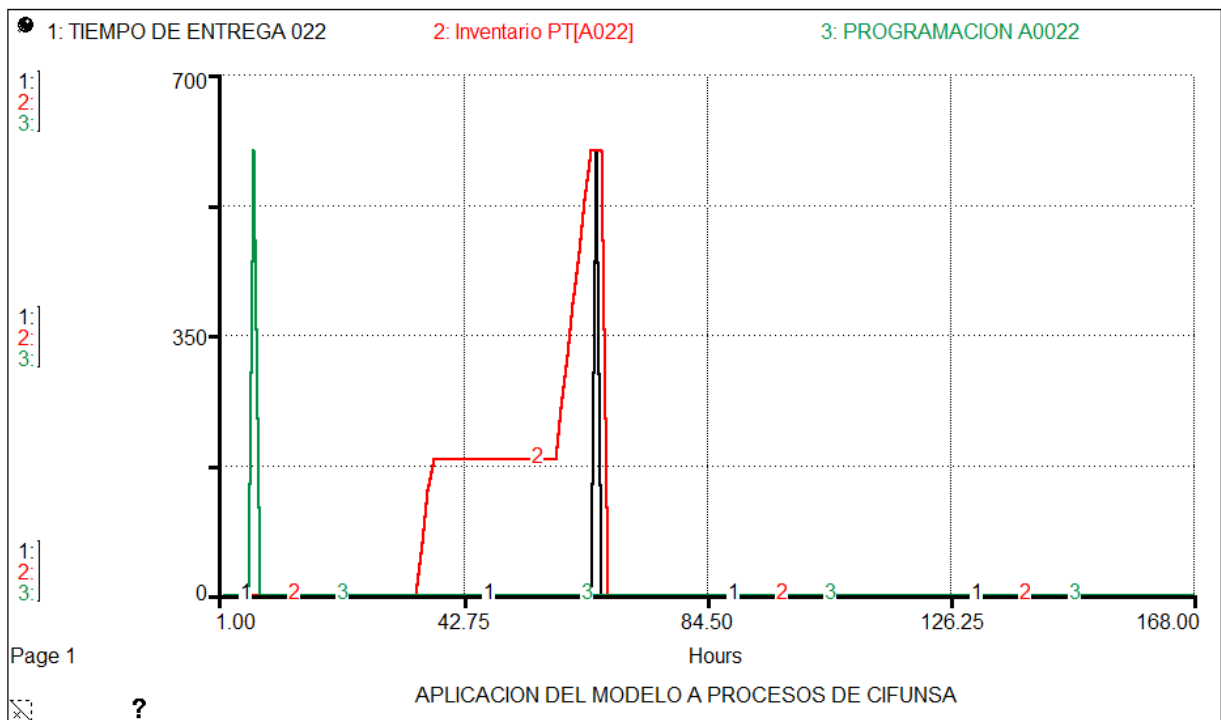


Figura 4.24 Comportamiento del sistema simulación con los datos del producto A0022

Para que los usuarios del sistema de evaluación, tuvieran una mejor interacción con el mismo, se diseñó una interfaz gráfica (ver figura 4.25). En esta interfase el usuario puede modificar los valores iniciales de: *inventarios en proceso (WIP)*, *capacidades de producción de los procesos*, *los horarios laborales*, *inventarios de materia prima y producto terminado*. También, mediante tablas, gráficas y visualizadores se puede monitorear el comportamiento de las variables principales del sistema y del indicador clave de desempeño.

Para comprobar que el sistema de evaluación, fue aplicado y validado en los procesos logísticos clave de la cadena de suministro de la empresa, los ingenieros Ricardo Arellano Lara, gerente del área de logística y Sergio Mendoza Rivera, coordinador del departamento de programación, extendieron un oficio a los participantes del proyecto (ver figura 4.26).

Como trabajo futuro, está realizar pruebas adicionales del sistema con otros productos. Debido a que la estructura del sistema, se estructuró considerando la estandarización de los procesos logísticos de las cadenas de suministro, como trabajo futuro también está la aplicación de este sistema a otros sectores industriales.

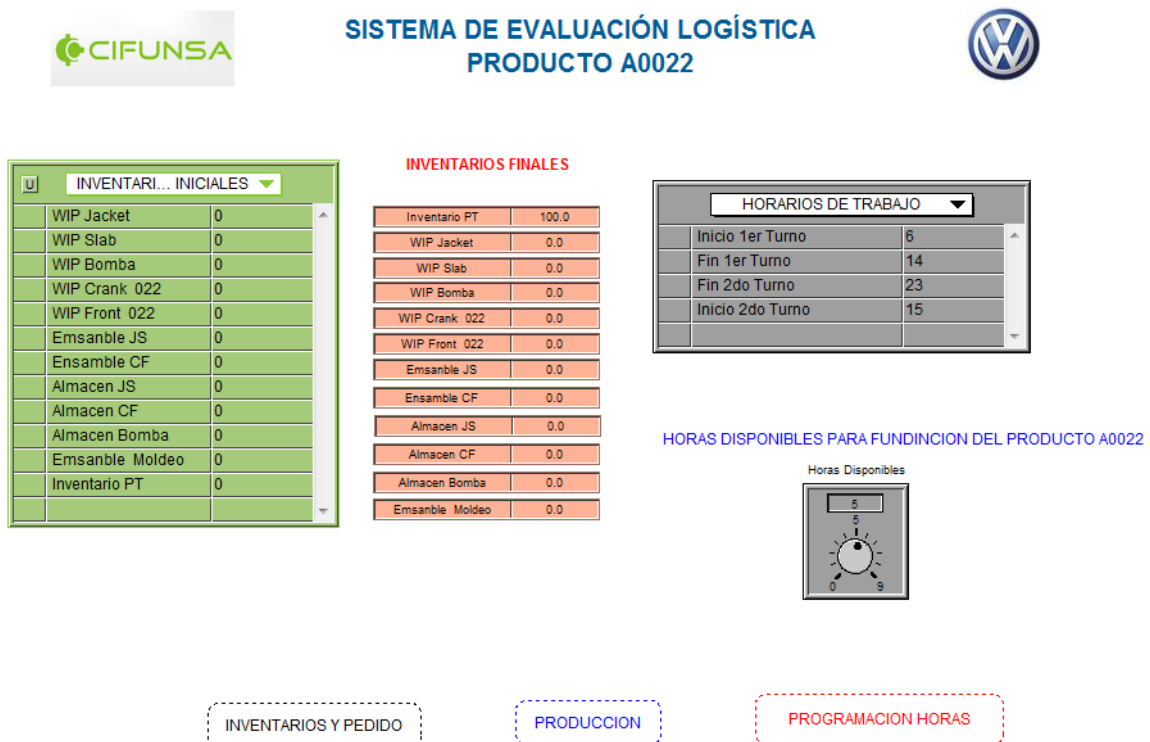


Figura 4.25 Interfaz gráfica que permite la interacción con el usuario.

4.6 Conclusiones

Cuando se desarrolla un sistema de simulación, que será utilizado para el análisis de un sistema o proceso, gran medida del éxito del mismo dependerá de la creatividad y experiencia del modelador, para disgregar los datos obtenidos de fuentes primarias y secundarias de información y definir las variables clave del sistema. Sin embargo, para determinar el grado de confiabilidad del sistema en su aplicación de campo, es necesario el uso de pruebas de validación a la estructura del sistema, los indicadores clave de desempeño y resultados obtenidos. Para lo cual, se tienen que definir parámetros iniciales o un rango de valores, donde se espera que el comportamiento del sistema sea el esperado.

Por tal motivo, en este capítulo se presentaron los resultados obtenidos de la prueba de validación de políticas extremas propuesta por Forrester y Senge (1985), que consiste en definir una demanda como entrada del sistema (variable exógena) con cero unidades. Como el comportamiento de las variables en los bucles de retroalimentación fue de reposo absoluto, el resultado fue favorable.

También se validó el sistema mediante un diseño de experimentos factorial 2^3 , herramienta estadística que no ha sido muy difundida en la validación de sistemas desarrollados en Dinámica de Sistemas, pero que es recomendable su uso. Los resultados obtenidos del ANOVA (Análisis de Varianza), indicaron que los factores y algunas interacciones entre ellos, eran significativas. El coeficiente de determinación múltiple R^2 (99.23%) y el R^2 ajustado (98.90%), mostraron que el sistema tiene un buen ajuste.

La validación en campo, se realizó en los procesos clave de una empresa de primer nivel del CARSC. Se identificó como cuello de botella de las operaciones logísticas al proceso de fundición y se analizó el comportamiento de los inventarios de materia prima, en proceso y producto terminado.

Los resultados de la aplicación de este sistema en la empresa, fueron satisfactorios, lográndose el objetivo de desarrollar una herramienta de evaluación que sea utilizada por las empresas para analizar los procesos clave de su cadena de suministro.

Capítulo 5.

Conclusiones.

5.1 Introducción.

La industria automotriz, por el dinamismo de su mercado y la innovación de sus productos, ha sido referencia en los últimos años de las mejores prácticas aplicadas a los procesos logísticos y de las cadenas de suministro (Meyr, 2004), que han mejorado sustancialmente la calidad de los vehículos, la eficiencia de las operaciones y los índices de satisfacción al cliente. Sin embargo, las tendencias de este sector deberán enfocarse en la producción de autos más eficientes en su desempeño, menor consumo de combustible y costos accesibles, lo cual marcará las pautas en la innovación y mejora continua de estas prácticas.

Por la globalización de las operaciones de la industria automotriz, un factor de éxito, ha sido la administración de las cadenas de suministro (Guarnieri et al, 2006), y de acuerdo a Mukherjee y Sastry (1996), las economías emergentes como China, la India, Brasil y México entre otros países, serán la base para el desarrollo de este sector, situación que es confirmada por los índices de producción de estos países en los últimos años (OICA, 2010).

Sin embargo, la crisis económica de 2008-2009, que afectó directamente al sector automotriz (Sturgeon y Van Biesebroeck, 2010; Wad, 2009; Sánchez et al, 2010), y principalmente a la economía de los mercados emergentes, donde este sector es importante en el PIB Manufacturero, como es el caso de México (INEGI, 2010). Por lo cual, es necesario desarrollar sistemas que permitan analizar los cambios de este sector (demandas) y definir las estrategias adecuadas.

Es por lo anterior, que la presente investigación tuvo como objetivo, desarrollar un *Sistema Dinámico de Evaluación Logística*, que analiza los procesos logísticos clave de las cadenas de suministro, desde un enfoque sistémico.

Aunque existen modelos propuestos para evaluar cadenas de suministro automotriz, como el propuesto por ODETE (2009), que es una asociación internacional sin fines de lucro y que agrupa a países como: Alemania, Bélgica, España, Francia, Holanda, Reino Unido y Suecia, se enfoca en el análisis de los procesos, pero no permite analizar sistémicamente a las cadenas de

suministro. Por su parte Umeda y Tina (2004), proponen un simulador genérico para evaluar cadenas de suministro, pero no detallan los bucles entre los procesos logísticos.

De igual manera, al diseñar el sistema de evaluación se pudo observar, que los procesos logísticos de empresas del sector automotriz en países desarrollados, difieren de los que realizan las empresas de economías emergentes. Mientras las primeras, realizan un análisis global y definen sus estrategias de mejora involucrando a proveedores y clientes; gran parte de las empresas en economías emergentes, enfocan sus esfuerzos en la mejora del transporte y de los inventarios, con lo cual, se limita la visión global de las operaciones (Cedillo, Pérez, 2010). Sin embargo, el sistema de evaluación propuesto si considera este aspecto.

5.2 Aportaciones y Conclusiones de la Investigación.

Las aportaciones de la presente investigación se han estructurado en cuatro aspectos: *Metodológico, Ingeniería Industrial, Simulación de Cadenas de Suministro en Dinámica de Sistemas y Regional.*

- En el aspecto *metodológico*, fue el desarrollo de la metodología de investigación, para lo cual se utilizó el enfoque de investigación abductivo, que permite generar un nuevo conocimiento mediante la retroalimentación de información obtenida de fuentes primarias y secundarias. De acuerdo Kovács y Spens (2005), gran parte de las investigaciones realizadas sobre procesos logísticos utilizan el enfoque de investigación deductivo o inductivo.
- En el aspecto de la *ingeniería industrial*, fue desarrollar *un sistema de evaluación*, que permite analizar las estructuras de retroalimentación de los procesos logísticos de las empresas regionales con participación en cadenas de suministro globales. Además, en la aplicación de este sistema en la empresa del CARSC, se utilizaron herramientas de ingeniería industrial, como los diseños de experimentos que fueron de gran utilidad en la validación del sistema y que ha sido poco explorado su uso en la simulación de Dinámica de Sistemas.

- La simulación de cadenas de suministro en *Dinámica de Sistemas*, ha sido analizada en diferentes modelos, considerando un comportamiento continuo en la entrada de los datos. Sin embargo, tomando de referencia el trabajo propuesto por Umeda y Jain (2004), donde consideran las fortalezas de los diagramas causales para identificar los bucles de retroalimentación de la cadena de suministro, pero permitiendo datos discretos como entrada de los modelos, se estructuró el sistema de evaluación. Los resultados obtenidos demuestran, que si es posible modelar y simular estos escenarios. Siendo que ha sido poco explorados estos modelos.
- La aportación *Regional* fue difundir el conocimiento de la importancia de los sistemas dinámicos de evaluación, ya que facilitan el aprendizaje de las personas con respecto a las estructuras de sus procesos logísticos, permitiendo una mejor toma de decisiones.

De los resultados obtenidos durante el desarrollo de la presente investigación, se concluye lo siguiente:

- La Administración de las Cadenas de Suministro, por su importancia como ventaja competitiva, es un área que ha sido explorado por diferentes investigadores a nivel mundial; sin embargo, en países como México (considerado dentro de las economías emergentes), es necesaria una mayor difusión y conocimiento en las empresas, debido a que los tomadores de decisiones aún confunden conceptos y enfocan sus esfuerzos en las mejoras locales de los procesos, perdiendo la perspectiva de que son parte de un sistema.
- Aunque autores como: Lee y Billington (1995), Mukherjee y Sastry (1996), Sterman (2000), Angerhoer y Angelides (2000), Jiménez y Hernández (2002), Gardner y Cooper (2003), Hugos (2003), Umeda y Tina (2004), y Größler y Schieritz (2005) han desarrollado diferentes investigaciones sobre el desempeño de las cadenas de suministro, es necesario que se realicen proyectos de investigación para la mejora de las cadenas de suministro en mercados emergentes.

- La validación de los resultados obtenidos mediante un diseño de experimentos, permitió robustecer el sistema e identificar las variables clave, en la cuales se debe tener mayor control, que en las pruebas realizadas fueron el inventario de materia prima, los tiempos de ciclo y el inventario de producto terminado. El ajuste del modelo fue del 98.90%.

5.3 Trabajo Futuro

Aunque se realizó la validación del sistema de evaluación mediante diseño de experimentos, se propone la validación mediante análisis de sensibilidad y otras técnicas que proponen Forrester y Senge (1980), en sus investigaciones. De igual manera, como trabajo futuro de la presente investigación, se propone:

5.4.1. Agregación de otros Subsistemas.

Entre los factores que afectan el desempeño de las cadenas de suministro y los cluster industriales, se encuentran la infraestructura, el capital laboral, la ubicación de los proveedores y las políticas gubernamentales (Vos y Akkermans, 1996; Bhatnagar y Sohal, 2005; Lin et al, 2006; Porter, 1990; 2000). De hecho autores como Brenner (2003), han realizado modelos matemáticos para analizar la influencia de estos factores en la evolución y competitividad de los Cluster Industriales. Cedillo et al. (2006) realizaron un análisis de las relaciones de cooperación interfirmas como elemento clave para el desarrollo de cadenas de suministro competitivas. Por lo cual, como trabajo futuro se considera agregar al sistema de evaluación, otros subsistemas que permitan analizar el grado de impacto de estos factores en la competitividad de las cadenas de suministro. Ya que de acuerdo a Brenner, hay una relación directa entre el fortalecimiento de estos factores y la mejora del desempeño de las regiones donde se desenvuelven las cadenas de suministro.

5.4.2. Aplicación en otros Sectores Industriales.

Como trabajo futuro, se aplicará el sistema de evaluación a otras empresas del CARSC, con el objetivo de analizar el desempeño de otros miembros, para incrementar la certeza del modelo como herramienta de evaluación. También,

se aplicará para analizar otros sectores industriales y verificar su uso en otros contextos de operación. Esto con la finalidad, de verificar que indistintamente de la estructura de la organización de los procesos de las cadenas de suministro, se puede estandarizar en lo general, pero que tal vez en lo particular, puedan existir diferencias que afecten la confiabilidad en los resultados obtenidos de su aplicación.

5.4.3. Aplicación de otros Enfoques de Validación al Sistema.

Como se mencionó anteriormente, la validación mediante diseño de experimentos ayudo a conocer el grado de confialidad del sistema, ya que pocos modelos desarrollados en Dinámica de Sistemas, han sido evaluados con esta herramienta. Sin embargo, debido a que los diseños experimentales, no permite identificar las influencias directas entre los bucles de retroalimentación, será necesario como trabajo futuro aplicar otros métodos de validación como los que propoenen Forrester y Senge (1980). Como lo menciona Oliva y Watson (2004), existen diferentes factores que los tomadores de decisiones deben tener en cuenta, como pueden ser suposiciones personales, experiencia, etc., sin embargo, el uso de este sistema como herramienta de evaluación, les puede dar mayor certeza en sus decisiones.

Bibliografía

- Akkermans, H. (2001).** *Emergent Supply Networks: System Dynamics Simulation of Adaptive Supply Agents*. Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Science.
- Albin, S. (1997).** *Building a System Dynamics Model Part 1: Conceptualization*. Rodmaps. MIT System Dynamics in Educational Project. D-4597.
- AMIA (2010).** *Estadísticas*. [En línea]. Consultado el día 15 de Enero de 2010. < www.amia.com.mx >
- Angerhofer, B.J. and Angelidis, M.C. (2000).** *System Dynamics Modeling in Supply Chain Management: Research View*. En Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference (Edited by J.A. Joines et al), pp 342-351.
- AnyLogic (2010).** [En línea]. Consultado el día 9 de Enero de 2010. <www.xjtek.com>
- Aracil, J. (1995).** *Dinámica de Sistemas*. Monografía. ISDEFE. España.
- ATKearney (2009).** *Auto 2020, Passengers Cars, Expert Perspective*. [En línea]. Consultado el día 6 de Febrero de 2010. < <http://www.atkearney.com/res/shared/pdf/Auto2020.pdf> >
- Autofacts (2010).** *Public Data*. [En línea]. Consultado el día 21 de Enero de 2010. <www.autofacts.com>
- Banks, J. (1999).** *Introduction to Simulation*. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, pp. 7-13.
- Barlas, Y. (1994).** *Model Validation in System Dynamics*. Proceeding of International System Dynamics Conference.
- Barlas, Y. (1996).** Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics. *System Dynamics Review*, Vol. 12, No.3 (Fall 1996): 183-210.
- Barlas, Y. y Aksogan, A. (1996).** *Product Diversification and Quick Response Order Strategies in Supply Chain Management*. Proceedings of the 14th International Conference of the System Dynamics Society.
- Barlas, Y., Topaloğlu, H. y Yilankaya, S. (1997).** *A Behavior Validity Testing Software (BTS)*. Proceeding of International System Dynamics Conference
- Barlas, Y. (2002).** *System Dynamics: System Feedback Modeling for Policy Analysis*. Knowledge for Sustainable Development – An Insight into the

Encyclopedia of Life Support System, UNESCO – EOLSS Publisher, Paris, France; Oxford, UK. pp: 1131-1175.

- Beamon, B. (1999).** *Measuring Supply Chain Performance*. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 19, No.3, pp.275-292.
- Bechmann, R. y Scherk M. (2010).** *Globalization in the Automotive Industry- Impact and Trends*. Capítulo del libro: Globalization 2, a Roadmap to the Future from Leading Minds. Editores R. Ijioui et al. Springer Berlin Heidelberg.
- Bhatnagar, R. y Sohal, A. (2005).** *Supply Chain Competitiveness: Measuring the Impact of Location Factor, Uncertainty and Manufacturing Practices*. Technovation. No. 25. p.p. 443-456.
- Bhatnagar, R et al. (2003).** *Relative Importance of Plant Location Factors: A cross National Comparison Between Singapore and Malaysia*. Journal of Business Logistics. Vol. 24. No. 1. p.p. 147-170.
- Brenner, T (2003).** *Policy Measures to Support the Emergence of Localised Industrial Clusters*. Cheltenham: Edward Elgar, pp. 325- 35.
- Cedillo, M., Pérez, A. (2010).** Hybrid supply chains in emerging markets: the case of the Mexican auto industry. *South African Journal of Industrial Engineering*, May, Vol. 21, No.1, pp. 193-206.
- Cedillo, M.G. y Sánchez, C. (2008).** *Análisis Dinámico de Sistemas Industriales*. Editorial Trillas. México.
- Cedillo, M.G, Sánchez, J. y Sánchez, C (2006).** *The New Relational Schemas of Inter-Firms Cooperation: The Case of the Coahuila Automobile Cluster in Mexico*. International Journal of Automotive Technology and Management. Vol. 6, No.4 pp. 406 – 418.
- Christopher, M. y Towill, D. (2001).** *An Integrated Model for the Design of Agile Supply Chains*. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management. Vol. 31. No. 4. pp.235-246.
- CIFUNSA (2010).** *Nuestros Clientes*. [En línea]. Consultado el día 3 de Febrero de 2010. <www.cifunsa.com.mx>
- Cochran, W. y Cox, G. (1976).** *Diseño de Experimentos*. Editorial Trillas, México. Cuarta reimpression.

- Deloitte (2010).** *A New Era, Accelerating Toward 2020- An Automotive Industry Transformed.* [En línea]. Consultado el día 9 de Febrero de 2010. <http://www.deloitte.com/assets/DcomCanada/Local%20Assets/Documents/Manufacturing/ca_en_mfg_new_era_011310.pdf>
- Dubois, A. y Gadde, L.E.(2002).** *Systematic combining: an abductive approach to case research.* Journal of Business Research. Vol. 55.pp. 553-560.
- Foggin, J., Mentzar, J. y Monroe , C.(2004).** *A Supply Chain Diagnostic Tool.* International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. Vol. 34, No. 10. pp. 827-855.
- Ford, D. (1999).** *A Behavioral Approach to Feedback Loop Dominance Analysis* System Dynamics Review, Vol. 15, No.1 (Spring 1999): 3-36.
- Forrester, J. (1961).** *Industrial Dynamics.* Editorial Pegasus
- Forrester, J. and Senge, P. (1980).** *Test for Building Confidence in System Dynamics Models.* TIMS Studies in the Management Science 14, pp 209-228.
- Gardner, J. y Cooper, M. (2003).** *Strategic Supply Chain Mapping Approaches.* Journal of Business Logistics, Vol. 24, No,2 , pp 37-64.
- Geary et al (2006).** *On Bullwhip in Supply Chains – Historical Review, Present Practice and Expected Future Impact.* International Journal Production Economics, 101, pp.2-18.
- Georgiadis, P., Vlachos, D. e Iakovou, E. (2005).** *A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chain.* Journal of Food Engineering, No. 70. p.p.351-364.
- Giaglis, G. (2001).** *A Taxonomy of Bussines Process Modeling and Information System Modeling Techniques.* The International Journal of Flexible Manufacturing System, Vol 13, pp. 209-228.
- Gimenez, C. (2005).** *Case of studies and surveys in supply chain management research – two complementary methodologies.* Research Methodologies in Supply Chain Management. Editorial Physica-Verlang. Pag.315-330.
- Golicic, S. et al (2005).** *A Balanced approach to research in Supply Chain Management.* Research Methodologies in Supply Chain Management. Editorial Physica-Verlang. Pag.15-29.

- Gröbler, A y Schieritz, N. (2005).** *Of Stocks, Flows, Agents and Rules – Strategic simulation in Supply Chain Research.* Research Methodologies in Supply Chain Management. Editorial Physica-Verlang. Pag.445-460.
- Grčić, B. and Munitić, A. (1996).** *System Dynamics Approach to Validation.* Proceeding of International System Dynamics Conference.
- Guarnieri, P., Pagani, R., Resende, L. y Hatekeyama, K. (2006).** *Productive Agglomerations of Suppliers in the Automotive Industry: A Way to Maximize Competitiveness in Supply Chain Management.* Journal of Technology Management & Innovation. Vol. 1, Issue 3. pp: 38-46.
- Gunasekaran, A., et al (2001).** *Performance Measure and Metrics in a Supply Chain Enviroment.* International Journal of Operations & Production Management, Vol. 21, pp.71-87.
- Gunasekaran, A., et al (2004).** *A Framework for Supply Chain Performance Measurement.* International Journal Production Economics, 87, pp.333-347.
- Halldórsson, À y Arlbjøn, J.S. (2005).** *Reseach Methodologies in Supply Chain Management- What Do We Know?.* Research Methodologies in Supply Chain Management. Editorial Physica-Verlang. Pag.107-122.
- Higuchi, T. y Troutt, M.D. (2004).** *Dynamic simulation of the supply chain for a short life cycle product –Lesson from the Tamagochi case.* Computers and operations research. No. 31. p.p.1097-1114.
- Huang et al (2005).** *Computer-Assisted Supply Chain Configuration Based on Supply Chain Operations Reference (SCOR) Model.* Computers & Industrial Engineering, Vol. 48, pp.377-394.
- Hugos, M. (2003).** *Essentials of Supply Chain Management.* John Wiley & Sons Inc. New Jersey.
- Humphrey, J. y Memedovic, O. (2003).** *The Global Automotive Industry Value Chain: What Prospects for Upgrading by Developing Countries.* United Nations Industrial Development Organization. [En línea]. Consultado el día 6 de Marzo de 2009.
<http://www.unido.org/fileadmin/media/documents/pdf/Services_Modules/Automotive_Industry.pdf>
- INA (2010).** *Estadísticas.* [En línea]. Consultado el día 3 de Junio de 2009.
<www.ina.com.mx>

- INEGI (2009).** *Estadísticas*. [En línea]. Consultado el día 3 de Marzo de 2010 <www.inegi.gob.mx>
- Ingalls, R. (2008).** *Introduction to Simulation*. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, pp. 17-26.
- IRN Inc (2009).** *2008 Automotive Outlook*. [En línea]. Consultado el día 6 de Febrero de 2010.<<http://www.oesa.org/presentations/index.php>>
- Iseesystems (2010).** *Products*. [En línea]. Consultado el día 15 de Enero de 2010. <www.iseesystems.com>
- Jiménez, J.E. y Hernández, S. (2002).** *Marco Conceptual de la cadena de suministros: Un nuevo enfoque logístico.* Publicación técnica. No.215.Institutito Mexicano del Transporte.
- Johannessen, S (2005).** *Supply chain management and the challenge of organizational complexity – Methodological considerations*. Research Methodologies in Supply Chain Management. Editorial Physica-Verlang. Pag.59-73.
- Kamath, B. y Roy, R. (2007).** *Capacity augmentation of a supply chain for a short lifecycle product; A system dynamics framework*. European Journal of Operational Research. 179: 334-351.
- Kleijnen, J. (1992).** *Sensitivity Analysis of System Dynamics Models: Regression Analysis and Statistical Design*. Proceeding of International System Dynamics Conference. pp 321-327.
- Kleijnen. J. (1995).** *Sensitivity Analysis and Optimization of System Dynamics Models: Regression Analysis and Statistical Design of Experiments*. System Dynamics Review. Vol. 11, No. 4, pp 275-288.
- Kleijnen. J. (2005).** *Supply Chain Simulation Tools and Techniques: A Survey*. International Journal of Simulation & Process. Vol. 1, No. 1/2.
- Korth, K (2009).** *New Thinking for a New Automotive Industry*. [En línea]. Consultado el día 9 de Febrero de 2010. Disponible en < <http://www.oesa.org/presentations/index.php>>
- Kovács, G. y Spens, K. (2005).** *Adductive reasoning in logistics research*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. Vol. 35. No.2, 2005.pp. 132-144.

- Lapide, L. (2000).** *What About Measuring Supply Chain Performance.* [En línea]. Consultado el día 10 de Febrero de 2010 <<http://lapide.ASCET.com>>
- Lee, H. y Billington, C. (1995).** *The Evolution of Supply-Chain-Management Models and Practice at Hewlett-Packard.* Interfaces , 25, pp.45-63.
- Lin, C. et al (2006).** *Elucidating the industrial cluster effect from a system dynamics perspective.* Technovation, 26, pp 473-482.
- Menon, A. et al. (1999).** *Antecedents and Consequences of Marketing Strategy Making: A model and Test.* Journal of Marketing. Vol. 63, No. 2. p.p.18-40
- Mentzer, J.T. y Kahn, K.B. (1995).** *A framework of logistics research.* Journal of Business Research. Vol. 16.No.1. pp. 231-250.
- Mentzer, J.T. y Flint, D.J. (1997).** *Validity in logistics research.* Journal of Business Logistics. No.18. pp. 199-216.
- MexicoNow. (2010).** *Mexico's Auto Industry the Road to Recovery.* OR Spectrum, Springer Berling/ Heildenberg. Vol. 6, No. 4.
- Meyr, H. (2004).** *Supply Chain Planning in the German Automotive Industry.* Año 8, No. 45.
- Moncayo, L.A. (2008).** *Bi-Criterion Optimisation for Configuring the Supply Chain Using Pareto Ant Colony Metaheuristic.* Tesis de Doctorado. Universidad de Exeter, Inglaterra.
- Montgomery (1991).** *Diseño y Análisis de Experimentos.* Grupo Editorial Iberoamérica.
- Morecroft, J. y Stewart R. (2005).** *Explaining Puzzling Dynamics: A Comparison the Use of System Dynamics and Discrete Event Simulation.* Proceedings of System Dynamics Society.
- Mukherjee, A. y Sastry, T. (1996).** *Automotive Industry in Emerging Economies: A Comparison of South Korea, Brazil, China and India.* Economic and Political Weekly. Vol. 31, No. 48. pp: M75-M78
- Naim, M. y Towill, D. (1994).** *Establishing a framework for effective Material Logistics Management.* The International Journal of Logistics Management. Vol. 5. p.p. 81 -88.
- Näslund, D. (2002).** *Logistics needs qualitative research – especially action research.* International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. Vol. 32. No.5.pp. 321-328.

- ODETTE (2009).** *Cursos y Jornadas*. [En línea]. Consultado el día 21 de Junio de 2010. <www.odette.es>
- OICA (2010).** *2008 Production Statistics*. [En línea]. Consultado el día 3 de Febrero de 2010. <<http://oica.net/category/production-statistics/>>
- OIT (2005).**, *Tendencias de la industria automotriz que afectan a los proveedores de componentes, reporte sectorial 2005*. [En línea]. Consultado 19 de octubre de 2005). Disponible en <www.ilo.org/public/spanish/dialogue/sector/techmeet/tmtem05/tmtemr.pdf>.
- Oliva, R. (1996).** *A Dynamic Theory of Service Delivery: Implications for Managing Service Quality*. Tesis de Doctorado. Instituto Tecnológico de Massachusetts. EUA.
- Oliva, R. y Watson, N. (2004).** *What Drives Supply Chain Behavior?*. Harvard Business School. [En línea]. Consultado el día 3 de Junio de 2009. <<http://hbswk.hbs.edu/item/4170.html>>
- Özbayrak, M., Papadopoulo, T. y Akgun M. (2007).** *System Dynamics Modelling of a Manufacturing Supply Chain System*. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 15. pp: 1338-1355
- Panurak et al. (1998).** *Agent-Based Modeling vs Equation Based Modeling: a case of study and user's guide*. *Proceedings of multi agent systems and agent based simulations*. 10-25.
- Ponce, E. y Prioda, B. (2001).** *Nuevos Sistemas de Gestión de Aprovisionamiento Basados en las Tecnologías de Información. E-procurement*. IV Congreso de Ingeniería de Organización, Sevilla, España.
- Ponce, E. y Prioda, B. (2006).** *La Logística de Aprovisionamientos para la Integración de la Cadena de Suministros*. Pearson Prentice Hall.
- Portalautomotriz. (2009).** *Magna, el Tercer Fabricante de Componentes Automotrices del Mundo*. [En línea]. Consultado el día 3 de Junio de 2009. <http://www.portalautomotriz.com/content/2/module/news/op/displaystory/story_id/19690/format/html/>
- Porter, M. (1990).** *The Competitive Advantage of Nations*. Editorial Free Press.
- Porter, M. (2000).** *Location, Competition and Economic Development: Local Clusters in a Global Economy*. *Economic Development Quarterly*, 1:15-34.

- Powersim (2010).** *Products & Services*. [En línea]. Consultado 5 de Abril de 2010. <www.powersim.com>
- Reiner, G. (2005a).** *Supply chain management research methodology using*. Research Methodologies in Supply Chain Management. Editorial Physica-Verlang. Pag.431-444.
- Reiner, G. (2005b).** *Customer-Oriented Improvement and Evaluation of Supply Chain Processes Supported by Simulation Models*. International Journal of Production Economics. Pag.381-395.
- Sánchez, C., Cedillo, M.G. y Pérez, P. (2008).** *Sensitivity of the Impact of Inventory and Cycle Time on Performance of the Automotive Supply Chain*. Proceedings of the 13th Annual International Conference of Industrial Engineering Theory, Applications and Practice, Las Vegas, Nevada, USA 2008.
- Sánchez, C., Cedillo, M.G., Pérez, P. Martínez, J.L. (2010).** En revisión. *Global Economic Crisis and Mexican Automotive Suppliers: Impacts on the Labor Capital*. Simulation Transactions of the Society for Modeling and Simulation International.
- Sarkis, J. (2006).** *Greening the Supply Chain*. Springer.
- Sarmiento, A., Rabelo, L., Lakkoju, R. y Moraga, R. (2007).** *Emergent Structures in Supply Chain- A Study Integrating Agent-Based and System Dynamics Modeling*. Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Science (HICSS' 03).
- Scheaffer, R. Mendenhall, W. y Lyman, O. (1987).** *Elementos de Muestreo*. Grupo Editorial Iberoamérica. México.
- Schieritz, N. y Größler, A. (2003).** *Emergent Structures in Supply Chain- A Study Integrating Agent-Based and System Dynamics Modeling*. Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Science (HICSS' 03).
- Schieritz, N. y Milling, Peter. (2003).** *Modeling the Forest or Modeling the Tress. A Comparison of System Dynamics and Agent Based Simulation*. Proceedings of System Dynamics Society.
- Scholl, H. (2001a).** *Agent-based and System Dynamics Modeling: A Call for Cross Study and Joint Research*. Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Science.

- Scholl, H. (2001b).** *Looking Across the Fence: Comparing Finding From SD Modeling Efforts with those Other Modeling Techniques.* International Conference of the System Dynamics Society, Atlanta, GA: System Dynamics Society .
- SEFOMECC (2010).** *Boletín.* [En línea]. Consultado 16 de Abril de 2010. <www.sefomecc-coahuila.gob.mx/>
- Seuring, S., Müller, M., Reiner, G. y Kotzab, H. (2005).** *Is There a Right Research Design for Your Supply Chain Study?.* Research Methodologies in Supply Chain Management. Editorial Physica-Verlang. Pag.1-29.
- Seuring, S. (2005).** *Case Study Research in Supply Chain- An Outline and Three Examples.* Research Methodologies in Supply Chain Management. Editorial Physica-Verlang. Pag.235-250.
- Shepherd, C. y Günter, H. (2006).** *Measuring Supply Chain Performance: current research and Future Directions.* International Journal of Productivity and Performance Management. Vol. 55, No.3/4. pp 242-258.
- SISAM (2009).** *Armadoras.* [En línea]. Consultado 9 de Septiembre de 2010.<www.sisam.com.mx>
- Sterman, J. (2000).** *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a ComplexWorld.* Irwin McGraw-Hill.
- Stock, J.R. (1997),** *Applying theories from other disciplines to logistics.* International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. Vol. 27. No.9/10.pp. 515-539.
- Sturgeon, T. y Van Biesebroeck (2010).** *Effects of the Crisis on the Automotive Industry in Developing Countries a Global Value Chain.* The World Bank Report.
- Sturgeon, T. et al (2009).** *Globalisation of the Automotive Industry: Main Features and Trends.* International Journal Technological Learning, Innovation and Development. Vol 2, No. 1/2. pp: 7-24.
- Sturgeon, T. et al (2007).** *Prospect for Canada in the NAFTA Automotive Industry: A Global Value Chain Analysis.* Industry Canada, Research Report.
- Supply Chain Council. (2010).** *SCOR Model.* [En línea]. Consultado el día 12 de Marzo de 2010. <www.supply-chain.org>

- Sweeter, A. (1999).** *A Comparison of System Dynamics (SD) and Discrete Event Simulation (DES)*. Proceedings of System Dynamics Society.
- Tako, A. y Robinson, S. (2008).** *Model Building in System Dynamics and Discrete-event Simulation: A Quantitative Comparison*. Proceedings of System Dynamics Society.
- Tako, A. y Robinson, S. (2009).** *Comparing Model Development in Discrete Event Simulation and System Dynamics*. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference M. D. Rossetti, R. R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin and R. G. Ingalls, eds.
- Tang, R. (2009).** *The Rise of China's Auto Industry and Its Impact on the U.S. Motor Vehicle Industry*. Congressional Research Service. [En línea]. Consultado el día 9 de Junio de 2010. <<http://www.fas.org/sqp/crs/row/R40924.pdf>>
- Taylor et al (2002).** *The aesthetic of management storytelling: a key organization learning*. Management Learning. Vol. 33, No. 3, pp. 313-30
- Teknikforetagen (2008).** *The Automotive Industry in India*. [En línea]. Consultado el día 9 de Junio de 2010. <http://www.teknikforetagen.se/upload/eng/automotive_industry_in_india.pdf>
- Thomas, D.J. y Griffin, P.M. (1996).** *Co-Ordinated Supply Chain Management*. European Journal of Operational Research. 1-15.
- Towill, D.R. (1995).** *Supply Chain Dynamics*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. Vol. 4, No.4, pp 197-208
- Towill, D. (1996).** *Industrial Dynamics Modeling of Supply Chains*. Logistics Information Management. Vol. 9, No. 3, pp. 43-56.
- Umeda, S. (2007).** *Supply Chain Simulation Integrated Discrete-event Modeling with System Dynamics Modeling*. Advances in Production Management System, eds. Olhager, J., Persson, F. (Boston Springer), pp. 329-336.
- Umeda, S. y Tina, L.Y. (2004).** *Design Specifications of a Generic Supply Chain Simulator*. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference.
- Umeda, S. y Jain, S. (2004).** *Integrated Supply Chain Simulation System (ISSS)-Modeling Requirements and Design Issues*. U.S. Department of Commerce.

- Vensim (2010).** *Courses*. [En línea]. Consultado 9 de Marzo de 2010.<www.vensim.com>
- Vlachos, D., Georgiadis, P. y Iakovou, E.(2006).** *A System Dynamics Model for Dynamic Capacity Planning of Remanufacturing in Closed-Loop Supply Chain*. *Computers & Operations Research*, Vol. 34, pp: 367 – 394.
- Vos, B. y Akkermans, H (1996).** *Capturing the Dynamics of Facility Allocation*. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 16, No.11, pp: 57 – 70.
- Wad, Peter. (2010).** *Impact of the Global Economic and Financial Crisis Over the Automotive Industry in Developing Countries*. Research and Statics Banch Working Paper. United Nations Industrial Development Organization. Viena.
- Waters, D. (2003).** *Logistics- An Introduction to Supply Chain Management*. Palgrave Mcmillan. New York.
- Weber, J. (2009).** *Automotive Development Processes. Processes for Successful Customer Oriented Vehicle Development*. Springer.
- Wyman, O. (2007).** *Car Innovation 2015: A Comprehensive Study on Innovation in the Automotive Industry*. [En línea]. Consultado el día 9 de Junio de 2010. <http://www.oliverwyman.com/ow/pdf_files/CarInnovation2015_engl.pdf>
- Zaragoza Logistics Center (2004).** *Estudio sobre el estado de la logística de empresas en Aragón*. [En línea]. Consultado el 9 de marzo, 2006. <http://fundear.zaragozalogistics.com/pdf/informe_fundear.pdf>.

ANEXO A – Encuestas exploratorias.

Los resultados obtenidos en la entrevista exploratoria a personal de **Magna Intier** se muestran a continuación:

- La empresa cuenta con un programa de desarrollo de proveedores, los cuales son evaluados mediante un procedimiento interno para que ingresen.
- Contratan algunos servicios para tener una transparencia en los costos y para complementar su tecnología.
- La distribución geográfica de los proveedores es: 15% México, 70% E.U.A, 10% Canadá y 5% Unión Europea.
- Algunos de los servicios que utiliza la empresa en sus procesos y actividades, pero que en la región no se pueden conseguir son los siguientes: *pegamentos, telas y poliuretanos* (la mayoría de los proveedores se localizan en Michigan, E.U.A) y en servicios los *fletes aéreos*.
- Con respecto al capital laboral de la región, el personal entrevistado considera que el nivel operativo es adecuado a lo que la empresa requiere, sin embargo, en puestos clave para los procesos no es fácil encontrar personal especializado en logística o cadena de suministros, por lo cual sería importante que los planes de estudio de las universidades consideraran ese tipo de carreras.
- Consideran importante la vinculación con universidades y centros de investigación y ejemplo de ello es que en la empresa se le da oportunidad a los estudiantes que quieren hacer estancias o prácticas profesionales.
- Con respecto a la infraestructura con la que cuenta la región (redes carreteras, parques industriales, telecomunicaciones), el personal entrevistado considera que esta bien comunicada, sin embargo algo en lo que se debe prever es el suministro del agua; con respecto de las políticas gubernamentales están han sido estables en los últimos años, lo que ha permitido el desarrollo de las empresas, así como la instalación de nuevas empresas en la región.
- Actualmente hay planes para que la empresa ponga una nueva planta de Intier en la ciudad de Toluca.

- Sus principales competidores son Lear Corporation, Jhonson Controls y Collin and Neyman.
- Es indispensable una base de datos sobre los proveedores que hay en la región, y una mayor vinculación con CIDIAC. Se observa poca solidez en los pequeños proveedores, desarrollo en los programas y planes de estudio, disminuir la burocracia en los trámites y formatos.
- Los puntos que evalúan a sus proveedores son tiempos de entrega y calidad.
- Los puntos evaluados por sus clientes son calidad, precio y tiempos de entrega.

Los tres principales proveedores se encuentran ubicados en el estado de Michigan, Estados Unidos (ver figura A1).

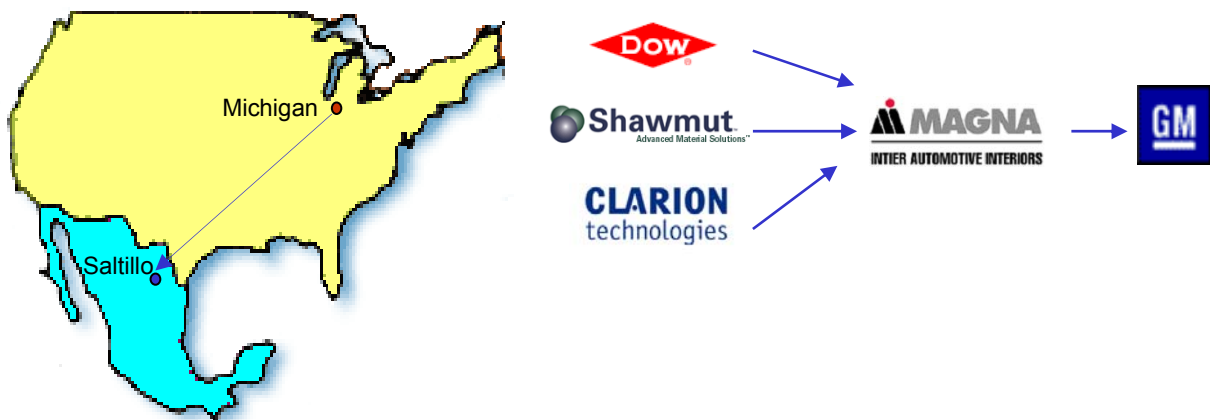


Figura A1. Principales proveedores de Magna Intier y su ubicación.

Los resultados obtenidos en la entrevista exploratoria a personal de **Inoplastic Omnium** se muestran a continuación:

- Se considera importante el desarrollo de proveedores, por lo cual cuenta con un programa que permite desarrollar a sus proveedores; así mismo para asignar un contrato se realiza un concurso entre tres proveedores y el que cumpla con los requisitos que se piden es el ganador.
- Entre los servicios que la empresa requiere, pero que no son fáciles de encontrar en la región están: pailería, refacciones de ferretería, tortillería, impresión entre otros. Pues la mayoría los consiguen en la ciudad de Monterrey. Respecto del personal que la empresa requiere, considera que la región si cuenta con la oferta necesaria.
- La vinculación que la empresa puede tener con universidades y centros de investigación puede ser importante, pues se podrían realizar investigaciones y estudios conjuntos a los productos, para buscar mejores materiales o analizar las causas de falla en los mismos.
- La infraestructura regional (carreteras, parques industriales, etc.), considera que es buena, sin embargo la zona sur (derramadero) tiene un gran potencial para desarrollar.
- Respecto de las políticas gubernamentales que fomenten el desarrollo de las empresas, considera que es lenta pero que si está permitiendo la creación de nuevas empresas en la región.
- Uno de los factores por lo cual la empresa se instaló en la zona, fue ser el ganador de un contrato de proveeduría para General Motors; también porque en la región había mano de obra calificada y la infraestructura de Ramos Arizpe eran buena para surtir a General Motors.
- La empresa tiene planes de expansión para el próximo año, como la ampliación de la planta y en el contexto internacional es en China y E.U.A.
- Entre sus principales competidores están Meridian y Padsa ambos con instalaciones en Estados Unidos.
- Entre los comentarios finales están: Que existiera un foro donde se den cursos o pláticas sobre algunas técnicas de producción y distribución que la empresa pueda aplicar; que la región contará con un catalogo sobre los servicios y productos que hay en la región.

- La cadena de suministros de Inoplastico-Omnium está enfocada en el desarrollo de su producto que es la quinta puerta de un sistema de las camionetas que produce General Motors. Sus proveedores para este producto son: *Budd* (Plástico SMC), *Dupont* (Pinturas) y *Ashland* (Pegamentos). Budd y Ashland manda sus productos de Estados Unidos, mientras Dupont lo hace de la Ciudad de México (figura A.2).
- Los puntos que evalúa a sus proveedores son: precio, capacidad instalada, tiempos de entrega.
- Los puntos que les evalúa su clientes son: precio y satisfacción.

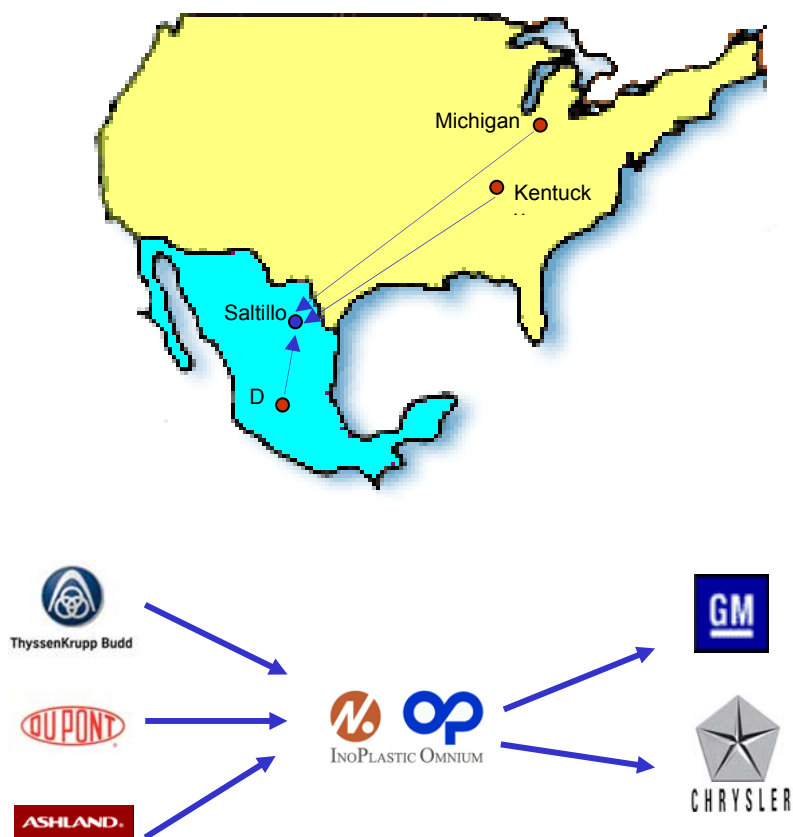


Figura A.2. Cadena de Suministro de InoPlastic y ubicación de proveedores.

Los resultados obtenidos en la entrevista exploratoria a personal de **Tornillos y Partes Totoche** se muestran a continuación

- La empresa no cuenta con un desarrollo de proveedores, ya que la relación con ellos sólo es para la compra de materiales. Con su principal proveedor tiene una relación de 15 años.
- Respecto del nivel de proveeduría en donde se encuentra la empresa, este varía de acuerdo a la cadena de suministro en la que participe, por ejemplo para *Sachs (empresa del ramo automotriz ubicada en Saltillo)* la empresa es proveedora de segundo nivel, mientras que para Caterpillar y John Deere (*empresas de Maquinaria Agrícola ubicadas en Torreón*) es proveedora de primer nivel.
- Respecto de las alianzas estratégicas, esta no las considera importantes para el negocio, ya que tiene 24 años como negocio particular.
- Los servicios que la empresa necesita tanto en la proveeduría de materia prima como en mantenimiento se encuentran principalmente en la ciudad de Monterrey, Nuevo León.
- De acuerdo a las necesidades de personal que la empresa requiere, considera que la región cuenta con buena oferta de capital laboral; de igual manera considera que la infraestructura (carreteras, líneas de comunicación y transporte) son adecuadas a sus actividades.
- La vinculación entre la empresa y las instituciones educativas, son importantes y de mutuo beneficio por lo cual, la empresa ha aceptado a estudiantes para que realicen prácticas profesionales.
- Respecto de las políticas gubernamentales considera que son buenas, sin embargo para fomentar más los productos y servicios que ofrecen las empresas de la región es necesaria más difusión tanto nacional como internacionalmente.
- Uno de los factores que influyeron para que la empresa se instalará en la región es que el dueño es de la ciudad de Saltillo, además de que su experiencia laboral siempre ha sido en este sector. Por el momento no hay planes de expansión de la planta a otras ciudades.

- Algunos de sus principales competidores son Vimar ubicada en Ramos Arizpe, Centro de Maquinado de la ciudad de Saltillo y otros en la ciudad de Torreón. Sin embargo la competencia también se esta dando con proveedores Chinos.
- Debido a que empresas importantes cuando se establecen en la zona traen a sus principales proveedores, según el entrevistado, es la mano de obra uno de los principales factores para que se establezcan aquí y pasando a segundo termino la proveeduría, por lo tanto son pocas las empresas que pueden ser proveedoras.
- La empresa esta afiliada a Canacintra y Canaco, sin embargo no tiene conocimiento de las funciones y apoyo que ofrece el CIDIAC.
- La publicidad y promoción de la empresa es un factor que aún no han explotado lo suficiente, ya que no hay promoción en medios e Internet actualmente.
- La evaluación a sus proveedores es por disponibilidad de materia prima y costos.
- Los clientes evalúan los tiempos de entrega y costos.

En la cadena de proveeduría de Tornillos y Partes Totoche, su principal materia prima la barra sólida tipo Cold Rolled con la cual fabrican bujes y la pieza Cover Piloto que le producen a Sachs (industria automotriz) y otras piezas a Caterpillar y John Deere (Maquinaria Agrícola). Su principal proveedor es IIRSACERO S.A. de C.V que esta ubicado en la ciudad de Monterrey (Figura A.3).

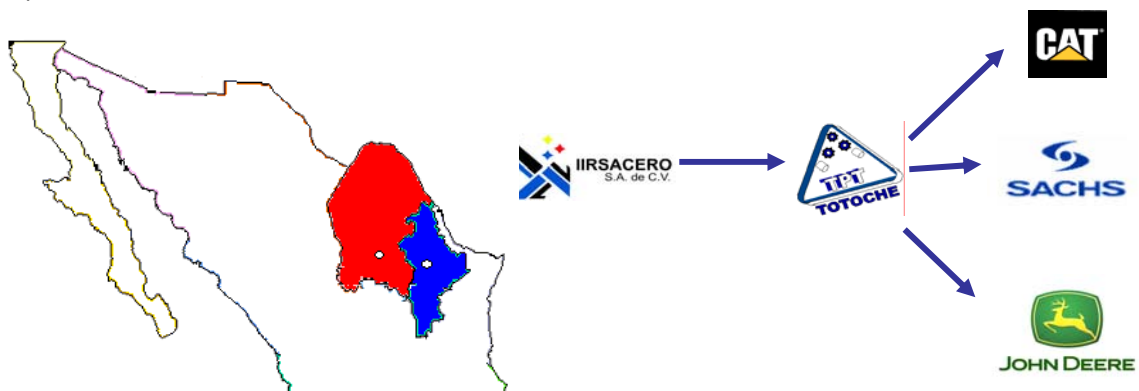


Figura A.3. Cadena de Suministro de Tornillos y Partes Totoche y ubicación de proveedores.

ANEXO B – Ecuaciones del sistema.

Almacen_Bomba(t) = Almacen_Bomba(t - dt) + (Tiempo_de__Enf_Bomba - Ens_Bomba) * dt
INIT Almacen_Bomba = 0
INFLOWS:
Tiempo_de__Enf_Bomba = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_022
OUTFLOWS:
Ens_Bomba(o) = IF Horario__1er_Turno=Contador_Horas AND
Almacen_Bomba>=Capacidad__Empaquetado_022 AND
Almacen_CF>=Capacidad__Empaquetado_022 AND
Almacen_JS>=Capacidad__Empaquetado_022 THEN (Capacidad__Empaquetado_022) ELSE
MIN(Almacen_JS,Almacen_CF,Almacen_Bomba)
Almacen_CC_067(t) = Almacen_CC_067(t - dt) + (Tiempo_de__Enf_CC_067 - Ens_CC_067) * dt
INIT Almacen_CC_067 = 0
INFLOWS:
Tiempo_de__Enf_CC_067 = CONVEYOR OUTFLOW
OUTFLOWS:
Ens_CC_067(o) = IF Horario__1er_Turno=Contador_Horas AND
Almacen_CC_067>=Capacidad__Ensamble_067 AND
Almacen_FR_067>=Capacidad__Ensamble_067 AND
Almacen_JS_067>=Capacidad__Ensamble_067 THEN Capacidad__Ensamble_067 ELSE
MIN(Almacen_CC_067,Almacen_FR_067,Almacen_JS_067)
Almacen_CF(t) = Almacen_CF(t - dt) + (Tiempo__Enfriamiento_CF - Ens_CF) * dt
INIT Almacen_CF = 0
INFLOWS:
Tiempo__Enfriamiento_CF = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_022
OUTFLOWS:
Ens_CF(o) = IF Horario__1er_Turno=Contador_Horas AND
Almacen_JS>=Capacidad__Empaquetado_022 AND
Almacen_CF>=Capacidad__Empaquetado_022 AND
Almacen_Bomba>=Capacidad__Empaquetado_022 THEN Capacidad__Empaquetado_022
ELSE MIN(Almacen_JS,Almacen_CF,Almacen_Bomba)
Almacen_CPH_067(t) = Almacen_CPH_067(t - dt) + (Tiempo__Enfriamiento_CPH_067 -
CPH_067) * dt
INIT Almacen_CPH_067 = 0
INFLOWS:
Tiempo__Enfriamiento_CPH_067 = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Enfr_CPH_067
OUTFLOWS:
CPH_067(o) = IF Horario__1er_Turno=1 AND Almacen_Lateral>=Cap_Fundic—n_067 AND
Almacen_CPH_067>=Cap_Fundic—n_067 THEN Cap_Fundic—n_067 ELSE
MIN(Almacen_CPH_067,Almacen_Lateral)
Almacen_FR_067(t) = Almacen_FR_067(t - dt) + (Tiempo_de__Enf_FR_067 - Ens_FR_067) * dt
INIT Almacen_FR_067 = 0
INFLOWS:
Tiempo_de__Enf_FR_067 = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Enf_067
OUTFLOWS:
Ens_FR_067(o) = IF Horario__1er_Turno=Contador_Horas AND
Almacen_CC_067>=Capacidad__Ensamble_067 AND
Almacen_FR_067>=Capacidad__Ensamble_067 AND
Almacen_JS_067>=Capacidad__Ensamble_067 THEN Capacidad__Ensamble_067 ELSE
MIN(Almacen_CC_067,Almacen_FR_067,Almacen_JS_067)
Almacen_JS(t) = Almacen_JS(t - dt) + (Tiempo__Enfriamiento_JS - Ens_JS) * dt
INIT Almacen_JS = 0
INFLOWS:

Tiempo_Enfriamiento_JS = CONVEYOR OUTFLOW
 TRANSIT TIME = Tiempo_022
 OUTFLOWS:
 Ens_JS(o) = IF Horario__1er_Turno=Contador_Horas AND
 Almacen_JS>=Capacidad_Empaquetado_022 AND
 Almacen_CF>=Capacidad_Empaquetado_022 AND
 Almacen_Bomba>=Capacidad_Empaquetado_022 THEN Capacidad_Empaquetado_022
 ELSE MIN(Almacen_JS,Almacen_CF,Almacen_Bomba)
 Almacen_JS_067(t) = Almacen_JS_067(t - dt) + (Tiempo_Enfriamiento_JS_067 -
 Ens_JS_067) * dt
 INIT Almacen_JS_067 = 0
 INFLOWS:
 Tiempo_Enfriamiento_JS_067 = CONVEYOR OUTFLOW
 TRANSIT TIME = Tiempo_Enf_067
 OUTFLOWS:
 Ens_JS_067(o) = IF Horario__1er_Turno=Contador_Horas AND
 Almacen_CC_067>=Capacidad_Ensamble_067 AND
 Almacen_FR_067>=Capacidad_Ensamble_067 AND
 Almacen_JS_067>=Capacidad_Ensamble_067 THEN (Capacidad_Ensamble_067) ELSE
 MIN(Almacen_CC_067,Almacen_FR_067,Almacen_JS_067)
 Almacen_Lateral(t) = Almacen_Lateral(t - dt) + (Tiempo_de__Enf_Lat_067 - Lat_067) * dt
 INIT Almacen_Lateral = 0
 INFLOWS:
 Tiempo_de__Enf_Lat_067 = CONVEYOR OUTFLOW
 TRANSIT TIME = Tiempo_Enf_067
 OUTFLOWS:
 Lat_067(o) = IF Horario__1er_Turno=1 AND Almacen_Lateral>=Cap_Fundic—n_067 AND
 Almacen_CPH_067>=Cap_Fundic—n_067 THEN Cap_Fundic—n_067 ELSE
 MIN(Almacen_CPH_067,Almacen_Lateral)
 Cadena_Enfriamiento[A022](t) = Cadena_Enfriamiento[A022](t - dt) + (Ent_Cadena[A022] -
 Sal_Cadena[A022]) * dt
 INIT Cadena_Enfriamiento[A022] = 0
 TRANSIT TIME = varies
 INFLOW LIMIT = INF
 CAPACITY = INF
 Cadena_Enfriamiento[A067](t) = Cadena_Enfriamiento[A067](t - dt) + (Ent_Cadena[A067] -
 Sal_Cadena[A067]) * dt
 INIT Cadena_Enfriamiento[A067] = 0
 TRANSIT TIME = varies
 INFLOW LIMIT = INF
 CAPACITY = INF
 INFLOWS:
 Ent_Cadena[A022] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Cadena_Enf[A022] ELSE 0
 Ent_Cadena[A067] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Cadena_Enf[A067] ELSE 0
 OUTFLOWS:
 Sal_Cadena[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
 TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Cadena[A022]
 Sal_Cadena[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
 TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Cadena[A067]
 Captura_de_D'a[A022](t) = Captura_de_D'a[A022](t - dt) + (Ent_Dia[A022]) * dt
 INIT Captura_de_D'a[A022] = 0
 Captura_de_D'a[A067](t) = Captura_de_D'a[A067](t - dt) + (Ent_Dia[A067]) * dt
 INIT Captura_de_D'a[A067] = 0
 INFLOWS:
 Ent_Dia[A022] = TIEMPO_DE_ENTREGA_022
 Ent_Dia[A067] = TIEMPO_DE_ENTREGA_067
 Debastado[A022](t) = Debastado[A022](t - dt) + (Ent__Debastado[A022] -
 Sal_Debastado[A022]) * dt
 INIT Debastado[A022] = 0
 TRANSIT TIME = varies

INFLOW LIMIT = INF
 CAPACITY = INF
 Debastado[A067](t) = Debastado[A067](t - dt) + (Ent__Debastado[A067] -
 Sal_Debastado[A067]) * dt
 INIT Debastado[A067] = 0
 TRANSIT TIME = varies
 INFLOW LIMIT = INF
 CAPACITY = INF
 INFLOWS:
 Ent__Debastado[A022] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Debastado[A022] ELSE 0
 Ent__Debastado[A067] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Debastado[A067] ELSE 0
 OUTFLOWS:
 Sal_Debastado[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
 TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Debastado[A022]
 Sal_Debastado[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
 TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Debastado[A067]
 Desmoldeo[A022](t) = Desmoldeo[A022](t - dt) + (Ent_Desm[A022] - Sal_Desmoldeo[A022]) *
 dt
 INIT Desmoldeo[A022] = 0
 TRANSIT TIME = varies
 INFLOW LIMIT = INF
 CAPACITY = INF
 Desmoldeo[A067](t) = Desmoldeo[A067](t - dt) + (Ent_Desm[A067] - Sal_Desmoldeo[A067]) *
 dt
 INIT Desmoldeo[A067] = 0
 TRANSIT TIME = varies
 INFLOW LIMIT = INF
 CAPACITY = INF
 INFLOWS:
 Ent_Desm[A022] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Desmoldeo[A022] ELSE 0
 Ent_Desm[A067] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Desmoldeo[A067] ELSE 0
 OUTFLOWS:
 Sal_Desmoldeo[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
 TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Desm[A022]
 Sal_Desmoldeo[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
 TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Desm[A067]
 Emsanble_JS(t) = Emsanble_JS(t - dt) + (Ent_Ens_J + Ent_Ens_S - Ens_Pin_Hor__JS) * dt
 INIT Emsanble_JS = 0
 INFLOWS:
 Ent_Ens_J(i) = Ent_Ens_J(o) * CONVERSION MULTIPLIER
 CONVERSION MULTIPLIER = 0.5
 Ent_Ens_S(i) = Ent_Ens_S(o) * CONVERSION MULTIPLIER
 CONVERSION MULTIPLIER = 0.5
 OUTFLOWS:
 Ens_Pin_Hor__JS = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Ens_Pin_Hor_JS ELSE 0
 Emsanble_JS_067(t) = Emsanble_JS_067(t - dt) + (Ent_Ens_S_067 + Ent_Ens_J_067 -
 Ens_Pin_Hor__JS_2) * dt
 INIT Emsanble_JS_067 = 0
 INFLOWS:
 Ent_Ens_S_067(i) = Ent_Ens_S_067(o) * CONVERSION MULTIPLIER
 CONVERSION MULTIPLIER = 0.5
 Ent_Ens_J_067(i) = Ent_Ens_J_067(o) * CONVERSION MULTIPLIER
 CONVERSION MULTIPLIER = 0.5
 OUTFLOWS:
 Ens_Pin_Hor__JS_2 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Ens_Pin_Hor_JS_067 ELSE 0
 Emsanble__Candado(t) = Emsanble__Candado(t - dt) + (Ens_FR_067 + Ens_CC_067 +
 Ens_JS_067 - Ens_Can_Pin_Hor__067) * dt
 INIT Emsanble__Candado = 0
 INFLOWS:
 Ens_FR_067(i) = Ens_FR_067(o) * CONVERSION MULTIPLIER

```

CONVERSION MULTIPLIER = 0.33
Ens_CC_067(i) = Ens_CC_067(o) * CONVERSION MULTIPLIER
CONVERSION MULTIPLIER = 0.33
Ens_JS_067(i) = Ens_JS_067(o) * CONVERSION MULTIPLIER
CONVERSION MULTIPLIER = 0.34
OUTFLOWS:
Ens_Can_Pin_Hor_067 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Can_Pin_Hor_067 ELSE 0
Enfriamiento_Bomba(t) = Enfriamiento_Bomba(t - dt) + (Ent_Enfr - Tiempo_de__Enf_Bomba) *
dt
INIT Enfriamiento_Bomba = 0
TRANSIT TIME = varies
INFLOW LIMIT = INF
CAPACITY = INF
INFLOWS:
Ent_Enfr = WIP_Bomba
OUTFLOWS:
Tiempo_de__Enf_Bomba = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_022
Enfriamiento_CC_067(t) = Enfriamiento_CC_067(t - dt) + (Ent_Enfr_CC_067 -
Tiempo_de__Enf_CC_067) * dt
INIT Enfriamiento_CC_067 = 0
TRANSIT TIME = 5
INFLOW LIMIT = INF
CAPACITY = INF
INFLOWS:
Ent_Enfr_CC_067 = WIP_CC_067
OUTFLOWS:
Tiempo_de__Enf_CC_067 = CONVEYOR OUTFLOW
Enfriamiento_CF(t) = Enfriamiento_CF(t - dt) + (Ens_Pin_Hor__CF -
Tiempo__Enfriamiento_CF) * dt
INIT Enfriamiento_CF = 0
TRANSIT TIME = varies
INFLOW LIMIT = INF
CAPACITY = INF
INFLOWS:
Ens_Pin_Hor__CF = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Ens_Pin_Hor_CF ELSE 0
OUTFLOWS:
Tiempo__Enfriamiento_CF = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_022
Enfriamiento_FR_067(t) = Enfriamiento_FR_067(t - dt) + (Ent_Enfr_FR_067 -
Tiempo_de__Enf_FR_067) * dt
INIT Enfriamiento_FR_067 = 0
TRANSIT TIME = varies
INFLOW LIMIT = INF
CAPACITY = INF
INFLOWS:
Ent_Enfr_FR_067 = WIP_FR_067
OUTFLOWS:
Tiempo_de__Enf_FR_067 = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Enf_067
Enfriamiento_JS(t) = Enfriamiento_JS(t - dt) + (Ens_Pin_Hor__JS - Tiempo__Enfriamiento_JS)
* dt
INIT Enfriamiento_JS = 0
TRANSIT TIME = varies
INFLOW LIMIT = INF
CAPACITY = INF
INFLOWS:
Ens_Pin_Hor__JS = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Ens_Pin_Hor_JS ELSE 0
OUTFLOWS:
Tiempo__Enfriamiento_JS = CONVEYOR OUTFLOW

```



```

TRANSIT TIME = Tiempo_022
Enfriamiento_JS_067(t) = Enfriamiento_JS_067(t - dt) + (Ens_Pin_Hor__JS_2 -
Tiempo__Enfriamiento_JS_067) * dt
INIT Enfriamiento_JS_067 = 0
TRANSIT TIME = varies
INFLOW LIMIT = INF
CAPACITY = INF
INFLOWS:
Ens_Pin_Hor__JS_2 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Ens_Pin_Hor_JS_067 ELSE 0
OUTFLOWS:
Tiempo__Enfriamiento_JS_067 = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Enf_067
Enfriamiento_Lateral(t) = Enfriamiento_Lateral(t - dt) + (Ent_Enfr_Lat -
Tiempo_de__Enf_Lat_067) * dt
INIT Enfriamiento_Lateral = 0
TRANSIT TIME = varies
INFLOW LIMIT = INF
CAPACITY = INF
INFLOWS:
Ent_Enfr_Lat = WIP_Lateral
OUTFLOWS:
Tiempo_de__Enf_Lat_067 = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Enf_067
Enfriamiento__Can_Pin_Hor_067(t) = Enfriamiento__Can_Pin_Hor_067(t - dt) +
(Ens_Can_Pin_Hor__067 - Tiempo__Enfriamiento_CPH_067) * dt
INIT Enfriamiento__Can_Pin_Hor_067 = 0
TRANSIT TIME = varies
INFLOW LIMIT = INF
CAPACITY = INF
INFLOWS:
Ens_Can_Pin_Hor__067 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Can_Pin_Hor_067 ELSE 0
OUTFLOWS:
Tiempo__Enfriamiento_CPH_067 = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Enfr_CPH_067
Ensamble_CF(t) = Ensamble_CF(t - dt) + (Ent_Ens_C + Ent_Ens_F - Ens_Pin_Hor__CF) * dt
INIT Ensamble_CF = 0
INFLOWS:
Ent_Ens_C(i) = Ent_Ens_C(o) * CONVERSION MULTIPLIER
CONVERSION MULTIPLIER = 0.5
Ent_Ens_F(i) = Ent_Ens_F(o) * CONVERSION MULTIPLIER
CONVERSION MULTIPLIER = 0.5
OUTFLOWS:
Ens_Pin_Hor__CF = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Ens_Pin_Hor_CF ELSE 0
Ensamble_Moldeo_067(t) = Ensamble_Moldeo_067(t - dt) + (Lat_067 + CPH_067 -
Ent_Fund_067[CLIENTES] - Ent_Fund_067[A022] - Ent_Fund_067[A067]) * dt
INIT Ensamble_Moldeo_067 = 360
INFLOWS:
Lat_067(i) = Lat_067(o) * CONVERSION MULTIPLIER
CONVERSION MULTIPLIER = 0.5
CPH_067(i) = CPH_067(o) * CONVERSION MULTIPLIER
CONVERSION MULTIPLIER = 0.5
OUTFLOWS:
Ent_Fund_067[A022] = 0
Ent_Fund_067[A067] = IF Ensamble__Moldeo_022=0 AND Inicio_Fundicion_067=2 AND
Ensamble_Moldeo_067>=(Capacidad_de_Fundici—n_067) THEN Capacidad_de_Fundici—
n_067 ELSE
IF Ensamble__Moldeo_022=0 AND Inicio_Fundicion_067=2 AND
Ensamble_Moldeo_067<(Capacidad_de_Fundici—n_067) THEN
MAX(0, Capacidad_de_Fundici—n_067, Ensamble_Moldeo_067) ELSE 0

```

```

Ensamble__Moldeo_022(t) = Ensamble__Moldeo_022(t - dt) + (Ens_JS + Ens_CF +
Ens_Bomba - Ent_022_Fun[CLIENTES] - Ent_022_Fun[A022] - Ent_022_Fun[A067]) * dt
INIT Ensamble__Moldeo_022 = 360
INFLOWS:
Ens_JS(i) = Ens_JS(o) * CONVERSION MULTIPLIER
      CONVERSION MULTIPLIER = 0.33
Ens_CF(i) = Ens_CF(o) * CONVERSION MULTIPLIER
      CONVERSION MULTIPLIER = 0.33
Ens_Bomba(i) = Ens_Bomba(o) * CONVERSION MULTIPLIER
      CONVERSION MULTIPLIER = 0.34
OUTFLOWS:
Ent_022_Fun[A022] = IF Inicio_de_Fundicion_022=1 AND
Ensamble__Moldeo_022>=(Capacidad__Fundici—n_022) THEN Capacidad__Fundici—n_022
ELSE

IF Inicio_de_Fundicion_022=1 AND Ensamble__Moldeo_022<(Capacidad__Fundici—n_022)
THEN MAX(0,Capacidad__Fundici—n_022,Ensamble__Moldeo_022) ELSE 0
Ent_022_Fun[A067] = 0
Envio_Cliente[A022](t) = Envio_Cliente[A022](t - dt) + (Envio[A022]) * dt
INIT Envio_Cliente[A022] = 0
Envio_Cliente[A067](t) = Envio_Cliente[A067](t - dt) + (Envio[A067]) * dt
INIT Envio_Cliente[A067] = 0
INFLOWS:
Envio[A022] = IF Inventario_PT[A022]>=Captura_de_D'a[A022] THEN
PULSE(Captura_de_D'a[A022],TIME) ELSE 0
Envio[A067] = IF Inventario_PT[A067]>=Captura_de_D'a[A067] THEN
PULSE(Captura_de_D'a[A067],TIME) ELSE 0
Esmerilado[A022](t) = Esmerilado[A022](t - dt) + (Ent_Esmerilado[A022] -
Sal_Esmerilado[A022]) * dt
INIT Esmerilado[A022] = 0
      TRANSIT TIME = varies
      INFLOW LIMIT = INF
      CAPACITY = INF
Esmerilado[A067](t) = Esmerilado[A067](t - dt) + (Ent_Esmerilado[A067] -
Sal_Esmerilado[A067]) * dt
INIT Esmerilado[A067] = 0
      TRANSIT TIME = varies
      INFLOW LIMIT = INF
      CAPACITY = INF
INFLOWS:
Ent_Esmerilado[A022] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Esmerilado[A022] ELSE 0
Ent_Esmerilado[A067] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Esmerilado[A067] ELSE 0
OUTFLOWS:
Sal_Esmerilado[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
      TRANSIT TIME = Tiempo_Proc__Esmerilado[A022]
Sal_Esmerilado[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
      TRANSIT TIME = Tiempo_Proc__Esmerilado[A067]
FUNDICION[CLIENTES](t) = FUNDICION[CLIENTES](t - dt) + (Ent_022_Fun[CLIENTES] +
Ent_Fund_067[CLIENTES] - Sal__Fund[CLIENTES]) * dt
INIT FUNDICION[CLIENTES] = 0
INFLOWS:
Ent_022_Fun[A022] = IF Inicio_de_Fundicion_022=1 AND
Ensamble__Moldeo_022>=(Capacidad__Fundici—n_022) THEN Capacidad__Fundici—n_022
ELSE

IF Inicio_de_Fundicion_022=1 AND Ensamble__Moldeo_022<(Capacidad__Fundici—n_022)
THEN MAX(0,Capacidad__Fundici—n_022,Ensamble__Moldeo_022) ELSE 0
Ent_022_Fun[A067] = 0
Ent_Fund_067[A022] = 0

```

Ent_Fund_067[A067] = IF Ensamble__Moldeo_022=0 AND Inicio_Fundicion_067=2 AND Ensamble_Moldeo_067>=(Capacidad_de_Fundici—n_067) THEN Capacidad_de_Fundici—n_067 ELSE

IF Ensamble__Moldeo_022=0 AND Inicio_Fundicion_067=2 AND Ensamble_Moldeo_067<(Capacidad_de_Fundici—n_067) THEN MAX(0,Capacidad_de_Fundici—n_067,Ensamble_Moldeo_067) ELSE 0

OUTFLOWS:

Sal__Fund[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Fund[A022]

Sal__Fund[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Fund[A067]

Inventario_PT[A022](t) = Inventario_PT[A022](t - dt) + (Sal_Maquinado[A022] + Supervision[A022] - Envio[A022]) * dt

INIT Inventario_PT[A022] = 0

Inventario_PT[A067](t) = Inventario_PT[A067](t - dt) + (Sal_Maquinado[A067] + Supervision[A067] - Envio[A067]) * dt

INIT Inventario_PT[A067] = 0

INFLOWS:

Sal_Maquinado[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Maquinado[A022]

Sal_Maquinado[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Maquinado[A067]

Supervision[A022] = 0

Supervision[A067] = WIP_Pintura[A067]

OUTFLOWS:

Envio[A022] = IF Inventario_PT[A022]>=Captura_de_D'a[A022] THEN PULSE(Captura_de_D'a[A022],TIME) ELSE 0

Envio[A067] = IF Inventario_PT[A067]>=Captura_de_D'a[A067] THEN PULSE(Captura_de_D'a[A067],TIME) ELSE 0

Liberacion__Chaqueta[A022](t) = Liberacion__Chaqueta[A022](t - dt) + (Ent_Lib__Chaqueta[A022] - Sal_Liberaci—n[A022]) * dt

INIT Liberacion__Chaqueta[A022] = 0

TRANSIT TIME = varies

INFLOW LIMIT = INF

CAPACITY = INF

Liberacion__Chaqueta[A067](t) = Liberacion__Chaqueta[A067](t - dt) + (Ent_Lib__Chaqueta[A067] - Sal_Liberaci—n[A067]) * dt

INIT Liberacion__Chaqueta[A067] = 0

TRANSIT TIME = 1

INFLOW LIMIT = INF

CAPACITY = INF

INFLOWS:

Ent_Lib__Chaqueta[A022] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Lib_Chaqueta ELSE 0

Ent_Lib__Chaqueta[A067] = 0

OUTFLOWS:

Sal_Liberaci—n[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc__Liberaci—n

Sal_Liberaci—n[A067] = CONVEYOR OUTFLOW

Limpieza[A022](t) = Limpieza[A022](t - dt) + (Ent_Limpieza[A022] - Sal_Limpieza[A022]) * dt

INIT Limpieza[A022] = 0

TRANSIT TIME = varies

INFLOW LIMIT = INF

CAPACITY = INF

Limpieza[A067](t) = Limpieza[A067](t - dt) + (Ent_Limpieza[A067] - Sal_Limpieza[A067]) * dt

INIT Limpieza[A067] = 0

TRANSIT TIME = varies

INFLOW LIMIT = INF

CAPACITY = INF

INFLOWS:

```

Ent_Limpieza[A022] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Limpieza[A022] ELSE 0
Ent_Limpieza[A067] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Limpieza[A067] ELSE 0
OUTFLOWS:
Sal_Limpieza[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
    TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Limpieza[A022]
Sal_Limpieza[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
    TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Limpieza[A067]
Maquinado[A022](t) = Maquinado[A022](t - dt) + (Ent_Maquinado[A022] -
Sal_Maquinado[A022]) * dt
INIT Maquinado[A022] = 0
    TRANSIT TIME = varies
    INFLOW LIMIT = INF
    CAPACITY = INF
Maquinado[A067](t) = Maquinado[A067](t - dt) + (Ent_Maquinado[A067] -
Sal_Maquinado[A067]) * dt
INIT Maquinado[A067] = 0
    TRANSIT TIME = varies
    INFLOW LIMIT = INF
    CAPACITY = INF
INFLOWS:
Ent_Maquinado[A022] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Maquinado ELSE 0
Ent_Maquinado[A067] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Maquinado ELSE 0
OUTFLOWS:
Sal_Maquinado[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
    TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Maquinado[A022]
Sal_Maquinado[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
    TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Maquinado[A067]
Piezas_de_SCRAP[A022](t) = Piezas_de_SCRAP[A022](t - dt) + (Ent_Cal_Scrap[A022] -
Dejar_en_Cero_Scrap[A022]) * dt
INIT Piezas_de_SCRAP[A022] = 0
Piezas_de_SCRAP[A067](t) = Piezas_de_SCRAP[A067](t - dt) + (Ent_Cal_Scrap[A067] -
Dejar_en_Cero_Scrap[A067]) * dt
INIT Piezas_de_SCRAP[A067] = 0
INFLOWS:
Ent_Cal_Scrap[A022] = ROUND(Calculo_022)
Ent_Cal_Scrap[A067] = ROUND(Calculo_067)
OUTFLOWS:
Dejar_en_Cero_Scrap[A022] = Cap_Scrap[A022]
Dejar_en_Cero_Scrap[A067] = Cap_Scrap[A067]
Piezas_Scrap[A022](t) = Piezas_Scrap[A022](t - dt) + (Cap_Scrap[A022]) * dt
INIT Piezas_Scrap[A022] = 0
Piezas_Scrap[A067](t) = Piezas_Scrap[A067](t - dt) + (Cap_Scrap[A067]) * dt
INIT Piezas_Scrap[A067] = 0
INFLOWS:
Cap_Scrap[A022] = IF WIP_Pintura[A022]>= Piezas_de_SCRAP[A022] THEN
(PULSE(Piezas_de_SCRAP[A022],TIME,0)) ELSE 0
Cap_Scrap[A067] = IF WIP_Pintura[A067]>= Piezas_de_SCRAP[A067] THEN
(PULSE(Piezas_de_SCRAP[A067],TIME,0)) ELSE 0
Pintura[A022](t) = Pintura[A022](t - dt) + (Ent_Pintura__022[A022] + Ent_Pin_067[A022] -
Sal_Pintura[A022]) * dt
INIT Pintura[A022] = 0
    TRANSIT TIME = varies
    INFLOW LIMIT = INF
    CAPACITY = INF
Pintura[A067](t) = Pintura[A067](t - dt) + (Ent_Pintura__022[A067] + Ent_Pin_067[A067] -
Sal_Pintura[A067]) * dt
INIT Pintura[A067] = 0
    TRANSIT TIME = varies
    INFLOW LIMIT = INF
    CAPACITY = INF

```

INFLOWS:
Ent_Pintura__022[A022] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Pintura_022 ELSE 0
Ent_Pintura__022[A067] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Pintura_022 ELSE 0
Ent_Pin_067[A022] = 0
Ent_Pin_067[A067] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Capacidad_Pintura_067 ELSE 0
OUTFLOWS:
Sal_Pintura[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Pintura
Sal_Pintura[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Pintura
PRODUCCION_A002(t) = PRODUCCION_A002(t - dt) + (Ent_Prod) * dt
INIT PRODUCCION_A002 = 0
INFLOWS:
Ent_Prod = PROGRAMACION_A0022
PRODUCCION_A0067(t) = PRODUCCION_A0067(t - dt) + (Ent_Prod_067) * dt
INIT PRODUCCION_A0067 = 0
INFLOWS:
Ent_Prod_067 = PROGRAMACION_A0067
Producci—n_Lateral_067[A022](t) = Producci—n_Lateral_067[A022](t - dt) +
(Ent_Prod_Lat[A022]) * dt
INIT Producci—n_Lateral_067[A022] = 0
Producci—n_Lateral_067[A067](t) = Producci—n_Lateral_067[A067](t - dt) +
(Ent_Prod_Lat[A067]) * dt
INIT Producci—n_Lateral_067[A067] = 0
INFLOWS:
Ent_Prod_Lat[A022] = 0
Ent_Prod_Lat[A067] = Ent_Prod_Lateral
Prod_Jack(t) = Prod_Jack(t - dt) + (Noname_18) * dt
INIT Prod_Jack = 0
INFLOWS:
Noname_18 = Ent_Prod_Jacket
Programa_Prod_Jacket_022(t) = Programa_Prod_Jacket_022(t - dt) + (Ent_Prod_Jacket -
Prod_Jacket_022) * dt
INIT Programa_Prod_Jacket_022 = 0
INFLOWS:
Ent_Prod_Jacket = ROUND(Produccion_Jackets_022/(1-Scrap_022))
OUTFLOWS:
Prod_Jacket_022 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Jacket ELSE 0
Programa_Prod__Slab_067(t) = Programa_Prod__Slab_067(t - dt) + (Ent_Prod_Slab_067 -
Prod_Slab_067) * dt
INIT Programa_Prod__Slab_067 = 0
INFLOWS:
Ent_Prod_Slab_067 = ROUND(Produccion__Slab_067/(1-Scrap_067))
OUTFLOWS:
Prod_Slab_067 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Slab_0067 ELSE 0
Prog_Prod_Bomba_022(t) = Prog_Prod_Bomba_022(t - dt) + (Ent_Prod_Bomba -
Prod__Bomba_022) * dt
INIT Prog_Prod_Bomba_022 = 0
INFLOWS:
Ent_Prod_Bomba = ROUND(Produccion_Bombas_022/(1-Scrap_022))
OUTFLOWS:
Prod__Bomba_022 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Prod_Bomba ELSE 0
Prog_Prod_CC_067(t) = Prog_Prod_CC_067(t - dt) + (Ent_Prod_Crank_C_067 -
Prod__CC_067) * dt
INIT Prog_Prod_CC_067 = 0
INFLOWS:
Ent_Prod_Crank_C_067 = ROUND(Crank_Case_067/(1-Scrap_067))
OUTFLOWS:
Prod__CC_067 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Prod_CC_067 ELSE 0

$$\text{Prog_Prod_Crank_022}(t) = \text{Prog_Prod_Crank_022}(t - dt) + (\text{Ent_Prod_Crank} - \text{Prod_Crank_022}) * dt$$

INIT Prog_Prod_Crank_022 = 0

INFLOWS:

$$\text{Ent_Prod_Crank} = \text{ROUND}(\text{Produccion_Crank_022}/(1-\text{Scrap_022}))$$

OUTFLOWS:

$$\text{Prod_Crank_022} = \text{IF Horario_1er_Turno}=1 \text{ THEN Crank ELSE } 0$$

$$\text{Prog_Prod_Front_022}(t) = \text{Prog_Prod_Front_022}(t - dt) + (\text{Ent_Prod_Front} - \text{Prod_Front_022}) * dt$$

INIT Prog_Prod_Front_022 = 0

INFLOWS:

$$\text{Ent_Prod_Front} = \text{ROUND}(\text{Produccion_Front_022}/(1-\text{Scrap_022}))$$

OUTFLOWS:

$$\text{Prod_Front_022} = \text{IF Horario_1er_Turno}=1 \text{ THEN Front ELSE } 0$$

$$\text{Prog_Prod_FR_067}(t) = \text{Prog_Prod_FR_067}(t - dt) + (\text{Ent_Prod_FR_067} - \text{Prod_FR_0067}) * dt$$

INIT Prog_Prod_FR_067 = 0

INFLOWS:

$$\text{Ent_Prod_FR_067} = \text{ROUND}(\text{Produccion_Front_Rear}/(1-\text{Scrap_067}))$$

OUTFLOWS:

$$\text{Prod_FR_0067} = \text{IF Horario_1er_Turno}=1 \text{ THEN Prod_FR_067 ELSE } 0$$

$$\text{Prog_Prod_Jack_067}(t) = \text{Prog_Prod_Jack_067}(t - dt) + (\text{Ent_Prod_Jacket_067} - \text{Prod_Jack_067}) * dt$$

INIT Prog_Prod_Jack_067 = 0

INFLOWS:

$$\text{Ent_Prod_Jacket_067} = \text{ROUND}(\text{Produccion_Jacket_067}/(1-\text{Scrap_067}))$$

OUTFLOWS:

$$\text{Prod_Jack_067} = \text{IF Horario_1er_Turno}=1 \text{ THEN Jack_067 ELSE } 0$$

$$\text{Prog_Prod_Lateral}(t) = \text{Prog_Prod_Lateral}(t - dt) + (\text{Ent_Prod_Lateral} - \text{Prod_Lateral}) * dt$$

INIT Prog_Prod_Lateral = 0

INFLOWS:

$$\text{Ent_Prod_Lateral} = \text{ROUND}(\text{Produccion_Lateral}/(1-\text{Scrap_067}))$$

OUTFLOWS:

$$\text{Prod_Lateral} = \text{IF Horario_1er_Turno}=1 \text{ THEN Prod_Lat ELSE } 0$$

$$\text{Prog_Prod_Slab_022}(t) = \text{Prog_Prod_Slab_022}(t - dt) + (\text{Ent_Prod_Slab_022} - \text{Prod_Slab_022}) * dt$$

INIT Prog_Prod_Slab_022 = 0

INFLOWS:

$$\text{Ent_Prod_Slab_022} = \text{ROUND}(\text{Produccion_Slabs_022}/(1-\text{Scrap_022}))$$

OUTFLOWS:

$$\text{Prod_Slab_022} = \text{IF Horario_1er_Turno}=1 \text{ THEN Slab ELSE } 0$$

$$\text{WIP_Bomba}(t) = \text{WIP_Bomba}(t - dt) + (\text{Prod_Bomba_022} - \text{Ent_Enfr}) * dt$$

INIT WIP_Bomba = 0

INFLOWS:

$$\text{Prod_Bomba_022} = \text{IF Horario_1er_Turno}=1 \text{ THEN Prod_Bomba ELSE } 0$$

OUTFLOWS:

$$\text{Ent_Enfr} = \text{WIP_Bomba}$$

$$\text{WIP_Cadena_Enfriamiento}[A022](t) = \text{WIP_Cadena_Enfriamiento}[A022](t - dt) + (\text{Sal_Cadena}[A022] - \text{Ent_Debastado}[A022]) * dt$$

INIT WIP_Cadena_Enfriamiento[A022] = 0

$$\text{WIP_Cadena_Enfriamiento}[A067](t) = \text{WIP_Cadena_Enfriamiento}[A067](t - dt) + (\text{Sal_Cadena}[A067] - \text{Ent_Debastado}[A067]) * dt$$

INIT WIP_Cadena_Enfriamiento[A067] = 0

INFLOWS:

$$\text{Sal_Cadena}[A022] = \text{CONVEYOR OUTFLOW}$$

$$\text{TRANSIT TIME} = \text{Tiempo_Proc_Cadena}[A022]$$

$$\text{Sal_Cadena}[A067] = \text{CONVEYOR OUTFLOW}$$

$$\text{TRANSIT TIME} = \text{Tiempo_Proc_Cadena}[A067]$$

OUTFLOWS:

$$\text{Ent_Debastado}[A022] = \text{IF Horario_2do_Turno}=2 \text{ THEN Cap_Debastado}[A022] \text{ ELSE } 0$$

Ent_Debastado[A067] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Debastado[A067] ELSE 0
 WIP_CC_067(t) = WIP_CC_067(t - dt) + (Prod__CC_067 - Ent_Enfr_CC_067) * dt
 INIT WIP_CC_067 = 0
 INFLOWS:
 Prod__CC_067 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Prod__CC_067 ELSE 0
 OUTFLOWS:
 Ent_Enfr_CC_067 = WIP_CC_067
 WIP_Crank__022(t) = WIP_Crank__022(t - dt) + (Prod__Crank_022 - Ent_Ens_C) * dt
 INIT WIP_Crank__022 = 0
 INFLOWS:
 Prod__Crank_022 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Crank ELSE 0
 OUTFLOWS:
 Ent_Ens_C(o) = IF Horario__1er_Turno=1 AND WIP_Crank__022>=Cap_Ens_CF AND
 WIP_Front__022>=Cap_Ens_CF THEN Cap_Ens_CF ELSE WIP_Crank__022
 WIP_Debastado[A022](t) = WIP_Debastado[A022](t - dt) + (Sal_Debastado[A022] -
 Ent_Limpieza[A022]) * dt
 INIT WIP_Debastado[A022] = 0
 WIP_Debastado[A067](t) = WIP_Debastado[A067](t - dt) + (Sal_Debastado[A067] -
 Ent_Limpieza[A067]) * dt
 INIT WIP_Debastado[A067] = 0
 INFLOWS:
 Sal_Debastado[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
 TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Debastado[A022]
 Sal_Debastado[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
 TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Debastado[A067]
 OUTFLOWS:
 Ent_Limpieza[A022] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Limpieza[A022] ELSE 0
 Ent_Limpieza[A067] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Limpieza[A067] ELSE 0
 WIP_Front__022(t) = WIP_Front__022(t - dt) + (Prod__Front_022 - Ent_Ens_F) * dt
 INIT WIP_Front__022 = 0
 INFLOWS:
 Prod__Front_022 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Front ELSE 0
 OUTFLOWS:
 Ent_Ens_F(o) = IF Horario__1er_Turno=1 AND WIP_Crank__022>=Cap_Ens_CF AND
 WIP_Front__022>=Cap_Ens_CF THEN Cap_Ens_CF ELSE
 MIN(WIP_Crank__022,WIP_Front__022)
 WIP_FR_067(t) = WIP_FR_067(t - dt) + (Prod__FR_0067 - Ent_Enfr_FR_067) * dt
 INIT WIP_FR_067 = 0
 INFLOWS:
 Prod__FR_0067 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Prod_FR_067 ELSE 0
 OUTFLOWS:
 Ent_Enfr_FR_067 = WIP_FR_067
 WIP_Fundici—n[A022](t) = WIP_Fundici—n[A022](t - dt) + (Sal__Fund[A022] -
 Ent_Desm[A022]) * dt
 INIT WIP_Fundici—n[A022] = 0
 WIP_Fundici—n[A067](t) = WIP_Fundici—n[A067](t - dt) + (Sal__Fund[A067] -
 Ent_Desm[A067]) * dt
 INIT WIP_Fundici—n[A067] = 0
 INFLOWS:
 Sal__Fund[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
 TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Fund[A022]
 Sal__Fund[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
 TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Fund[A067]
 OUTFLOWS:
 Ent_Desm[A022] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Desmoldeo[A022] ELSE 0
 Ent_Desm[A067] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Desmoldeo[A067] ELSE 0
 WIP_Jacket(t) = WIP_Jacket(t - dt) + (Prod_Jacket_022 - Ent_Ens_J) * dt
 INIT WIP_Jacket = 0
 INFLOWS:
 Prod_Jacket_022 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Jacket ELSE 0

OUTFLOWS:

Ent_Ens_J(o) = IF Horario__1er_Turno=1 AND WIP_Jacket>=Cap_Ens_JS AND WIP_Slab>=Cap_Ens_JS THEN Cap_Ens_JS ELSE MIN(WIP_Slab,WIP_Jacket)
WIP_Jack_067(t) = WIP_Jack_067(t - dt) + (Prod_Jack_067 - Ent_Ens_J_067) * dt
INIT WIP_Jack_067 = 0

INFLOWS:

Prod_Jack_067 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Jack_067 ELSE 0

OUTFLOWS:

Ent_Ens_J_067(o) = IF Horario__1er_Turno=1 AND WIP_Slab_067>=Cap_Ens_JS_067 AND WIP_Jack_067>=Cap_Ens_JS_067 THEN Cap_Ens_JS_067 ELSE MIN(WIP_Jack_067,WIP_Slab_067)
WIP_Lateral(t) = WIP_Lateral(t - dt) + (Prod__Lateral - Ent_Enfr_Lat) * dt
INIT WIP_Lateral = 0

INFLOWS:

Prod__Lateral = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Prod_Lat ELSE 0

OUTFLOWS:

Ent_Enfr_Lat = WIP_Lateral
WIP_Liberacion[A022](t) = WIP_Liberacion[A022](t - dt) + (Sal_Liberaci—n[A022] - Ent_Pintura__022[A022]) * dt
INIT WIP_Liberacion[A022] = 0
WIP_Liberacion[A067](t) = WIP_Liberacion[A067](t - dt) + (Sal_Liberaci—n[A067] - Ent_Pintura__022[A067]) * dt
INIT WIP_Liberacion[A067] = 0

INFLOWS:

Sal_Liberaci—n[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc__Liberaci—n

Sal_Liberaci—n[A067] = CONVEYOR OUTFLOW

OUTFLOWS:

Ent_Pintura__022[A022] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Pintura_022 ELSE 0
Ent_Pintura__022[A067] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Pintura_022 ELSE 0
WIP_Limpieza[A022](t) = WIP_Limpieza[A022](t - dt) + (Sal_Limpieza[A022] - Ent_Esmirilado[A022]) * dt
INIT WIP_Limpieza[A022] = 0
WIP_Limpieza[A067](t) = WIP_Limpieza[A067](t - dt) + (Sal_Limpieza[A067] - Ent_Esmirilado[A067]) * dt
INIT WIP_Limpieza[A067] = 0

INFLOWS:

Sal_Limpieza[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Limpieza[A022]

Sal_Limpieza[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Limpieza[A067]

OUTFLOWS:

Ent_Esmirilado[A022] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Esmerilado[A022] ELSE 0
Ent_Esmirilado[A067] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Esmerilado[A067] ELSE 0
WIP_Pintura[A022](t) = WIP_Pintura[A022](t - dt) + (Sal_Pintura[A022] - Ent_Maquinado[A022] - Cap_Scrap[A022] - Supervision[A022]) * dt
INIT WIP_Pintura[A022] = 0
WIP_Pintura[A067](t) = WIP_Pintura[A067](t - dt) + (Sal_Pintura[A067] - Ent_Maquinado[A067] - Cap_Scrap[A067] - Supervision[A067]) * dt
INIT WIP_Pintura[A067] = 0

INFLOWS:

Sal_Pintura[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc__Pintura

Sal_Pintura[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc__Pintura

OUTFLOWS:

Ent_Maquinado[A022] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Maquinado ELSE 0
Ent_Maquinado[A067] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Maquinado ELSE 0
Cap_Scrap[A022] = IF WIP_Pintura[A022]>= Piezas_de_SCRAP[A022] THEN (PULSE(Piezas_de_SCRAP[A022],TIME,0)) ELSE 0


```

Cap_Scrap[A067] = IF WIP_Pintura[A067]>= Piezas_de_SCRAP[A067] THEN
(PULSE(Piezas_de_SCRAP[A067],TIME,0)) ELSE 0
Supervision[A022] = 0
Supervision[A067] = WIP_Pintura[A067]
WIP_Slab(t) = WIP_Slab(t - dt) + (Prod_Slab_022 - Ent_Ens_S) * dt
INIT WIP_Slab = 0
INFLOWS:
Prod_Slab_022 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Slab ELSE 0
OUTFLOWS:
Ent_Ens_S(o) = IF Horario__1er_Turno=1 AND WIP_Jacket>=Cap_Ens_JS AND
WIP_Slab>=Cap_Ens_JS THEN Cap_Ens_JS ELSE MIN(WIP_Slab,WIP_Jacket)
WIP_Slab_067(t) = WIP_Slab_067(t - dt) + (Prod_Slab_067 - Ent_Ens_S_067) * dt
INIT WIP_Slab_067 = 0
INFLOWS:
Prod_Slab_067 = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Slab_0067 ELSE 0
OUTFLOWS:
Ent_Ens_S_067(o) = IF Horario__1er_Turno=1 AND WIP_Slab_067>=Cap_Ens_JS_067 AND
WIP_Jack_067>=Cap_Ens_JS_067 THEN Cap_Ens_JS_067 ELSE
MIN(WIP_Jack_067,WIP_Slab_067)
WIP__Desmoldeo[A022](t) = WIP__Desmoldeo[A022](t - dt) + (Sal_Desmoldeo[A022] -
Ent_Cadena[A022]) * dt
INIT WIP__Desmoldeo[A022] = 0
WIP__Desmoldeo[A067](t) = WIP__Desmoldeo[A067](t - dt) + (Sal_Desmoldeo[A067] -
Ent_Cadena[A067]) * dt
INIT WIP__Desmoldeo[A067] = 0
INFLOWS:
Sal_Desmoldeo[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Desm[A022]
Sal_Desmoldeo[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc_Desm[A067]
OUTFLOWS:
Ent_Cadena[A022] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Cadena_Enf[A022] ELSE 0
Ent_Cadena[A067] = IF Horario__2do_Turno=2 THEN Cap_Cadena_Enf[A067] ELSE 0
WIP__Esmerilado[A022](t) = WIP__Esmerilado[A022](t - dt) + (Sal_Esmerilado[A022] -
Ent_Lib__Chaqueta[A022] - Ent_Pin_067[A022]) * dt
INIT WIP__Esmerilado[A022] = 0
WIP__Esmerilado[A067](t) = WIP__Esmerilado[A067](t - dt) + (Sal_Esmerilado[A067] -
Ent_Lib__Chaqueta[A067] - Ent_Pin_067[A067]) * dt
INIT WIP__Esmerilado[A067] = 0
INFLOWS:
Sal_Esmerilado[A022] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc__Esmerilado[A022]
Sal_Esmerilado[A067] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Tiempo_Proc__Esmerilado[A067]
OUTFLOWS:
Ent_Lib__Chaqueta[A022] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Cap_Lib__Chaqueta ELSE 0
Ent_Lib__Chaqueta[A067] = 0
Ent_Pin_067[A022] = 0
Ent_Pin_067[A067] = IF Horario__1er_Turno=1 THEN Capacidad_Pintura_067 ELSE 0
Calculo_022 = Ent_Prod_Slab_022*Scrap_022
Calculo_067 = Ent_Prod_Lateral*Scrap_067
Capacidad_de_Fundici—n_067 = 195
Capacidad_Pintura_067 = 180
Capacidad__Empaquetedo_022 = 110
Capacidad__Ensamble_067 = 100
Capacidad__Fundici—n_022 = 195
Cap_Cadena_Enf[A022] = 360
Cap_Cadena_Enf[A067] = 195
Cap_Can_Pin_Hor_067 = 100
Cap_Debastado[A022] = 360

```

```

Cap_Debastado[A067] = 195
Cap_Desmoldeo[A022] = 360
Cap_Desmoldeo[A067] = 195
Cap_Ens_CF = 110
Cap_Ens_JS = 150
Cap_Ens_JS_067 = 100
Cap_Ens_Pin_Hor_CF = 110
Cap_Ens_Pin_Hor_JS = 150
Cap_Ens_Pin_Hor_JS_067 = 100
Cap_Esmerilado[A022] = 120
Cap_Esmerilado[A067] = 120
Cap_Fundición_067 = 100
Cap_Lib_Chaqueta = 120
Cap_Limpieza[A022] = 360
Cap_Limpieza[A067] = 195
Cap_Maquinado = 70
Cap_Pintura_022 = 240
Cap_Prod_B_240 = 240
Cap_Prod_CC_067_100 = 100
Cap_Prod_C_110 = 110
Cap_Prod_FR_067_100 = 100
Cap_Prod_F_150 = 150
Cap_Prod_Jack_067_100 = 100
Cap_Prod_J_200 = 200
Cap_Prod_Lat_90 = 90
Cap_Prod_Slab_067_100 = 100
Cap_Prod_S_200 = 200
Contador_Horas = COUNTER(1,25)
Contador_Semanas = COUNTER(1,169)
Crank = IF Prog_Prod_Crank_022>Cap_Prod_C_110 THEN Cap_Prod_C_110 ELSE
Prog_Prod_Crank_022
Crank_022 = PROGRAMACION_A0022*Piezas_requeridas__Crank_022
Crank_Case_067 = PROGRAMACION_A0067*Piezas_requeridas__Crank_Case_067
Decision_Fundición = 1
Dias = IF Contador_Semanas>=1 AND Contador_Semanas<=24 THEN Lunes ELSE
IF Contador_Semanas>24 AND Contador_Semanas<=48 THEN Martes ELSE
IF Contador_Semanas>48 AND Contador_Semanas<=72 THEN Miercoles ELSE
IF Contador_Semanas>72 AND Contador_Semanas<=96 THEN Jueves ELSE
IF Contador_Semanas>96 AND Contador_Semanas<=120 THEN Viernes ELSE
IF Contador_Semanas>120 AND Contador_Semanas<=144 THEN Sábado ELSE
IF Contador_Semanas>144 AND Contador_Semanas<=168 THEN Domingo ELSE 0
Domingo = 7
Fin_1er_Turno = 14
Fin_2do_Turno = 23
Front = IF Prog_Prod_Front_022>Cap_Prod_F_150 THEN Cap_Prod_F_150 ELSE
Prog_Prod_Front_022
Front_022 = PROGRAMACION_A0022*Piezas_requeridas__Front_022
Horario__1er_Turno = IF Contador_Horas>=Inicio_1er_Turno AND
Contador_Horas<=Fin_1er_Turno AND Dias=Lunes THEN 1 ELSE
IF Contador_Horas>=Inicio_1er_Turno AND Contador_Horas<=Fin_1er_Turno AND
Dias=Martes THEN 1 ELSE
IF Contador_Horas>=Inicio_1er_Turno AND Contador_Horas<=Fin_1er_Turno AND
Dias=Miercoles THEN 1 ELSE
IF Contador_Horas>=Inicio_1er_Turno AND Contador_Horas<=Fin_1er_Turno AND
Dias=Jueves THEN 1 ELSE
IF Contador_Horas>=Inicio_1er_Turno AND Contador_Horas<=Fin_1er_Turno AND
Dias=Viernes THEN 1 ELSE
IF Contador_Horas>=Inicio_1er_Turno AND Contador_Horas<=Fin_1er_Turno AND
Dias=Sábado THEN 1 ELSE
IF Dias=Domingo THEN 0 ELSE 0

```

```

Horario__2do_Turno = IF Contador_Horas>=Inicio_2do_Turno AND
Contador_Horas<=Fin_2do_Turno AND Dias=Lunes THEN 2 ELSE
IF Contador_Horas>=Inicio_2do_Turno AND Contador_Horas<=Fin_2do_Turno AND
Dias=Martes THEN 2 ELSE
IF Contador_Horas>=Inicio_2do_Turno AND Contador_Horas<=Fin_2do_Turno AND
Dias=Miercoles THEN 2 ELSE
IF Contador_Horas>=Inicio_2do_Turno AND Contador_Horas<=Fin_2do_Turno AND
Dias=Jueves THEN 2 ELSE
IF Contador_Horas>=Inicio_2do_Turno AND Contador_Horas<=Fin_2do_Turno AND
Dias=Viernes THEN 2 ELSE
IF Contador_Horas>=Inicio_2do_Turno AND Contador_Horas<=Fin_2do_Turno AND
Dias=Sábado THEN 2 ELSE
IF Dias=Domingo THEN 0 ELSE 0
Horas_Disponibles_Prioridad_1 = 4
Inicio_1er_Turno = 6
Inicio_2do_Turno = 15
Inicio_de_Fundición = 11
Inicio_de_Fundición_022 = IF Decision_Fundición=1 AND Inicio_de_Fundición
n>=Inicio_1er_Turno AND Inicio_de_Fundición<Fin_2do_Turno AND
Contador_Horas>=Lim_Inf_Hras_Fund_022 AND Contador_Horas<(Lim_Inf_Horas_Fund_067)
THEN 1 ELSE
IF Decision_Fundición=2 AND Inicio_de_Fundición>=Inicio_1er_Turno AND
Inicio_de_Fundición<Fin_2do_Turno AND Contador_Horas>=(Lim_Inf_Hras_Fund_022) AND
Contador_Horas<=Fin_2do_Turno THEN 1 ELSE 0
Inicio_Fundición_067 = IF Decision_Fundición=2 AND Inicio_de_Fundición>=Inicio_1er_Turno
AND Inicio_de_Fundición<Fin_2do_Turno AND Contador_Horas>=Lim_Inf_Horas_Fund_067
AND Contador_Horas<(Lim_Inf_Hras_Fund_022) THEN 2 ELSE
IF Decision_Fundición=1 AND Inicio_de_Fundición>=Inicio_1er_Turno AND
Inicio_de_Fundición<Fin_2do_Turno AND Contador_Horas>=(Lim_Inf_Horas_Fund_067) AND
Contador_Horas<=Fin_2do_Turno THEN 2 ELSE 0
Jacket = IF Programa_Prod_Jacket_022>Cap_Prod_J__200 THEN Cap_Prod_J__200 ELSE
Programa_Prod_Jacket_022
Jackets_022 = PROGRAMACION_A0022*Piezas_requeridas__Jacket_022
Jacket_067 = PROGRAMACION_A0067*Piezas_requeridas__Jacket_067
Jack_067 = IF Prog_Prod_Jack_067>Cap_Prod_Jack_067__100 THEN
Cap_Prod_Jack_067__100 ELSE Prog_Prod_Jack_067
Jueves = 4
Lateral = PROGRAMACION_A0067*Piezas_requeridas__Lateral
Lim_Inf_Horas_Fund_067 = IF Decision_Fundición=2 THEN Inicio_de_Fundición ELSE
IF Decision_Fundición=1 THEN (Inicio_de_Fundición+Horas_Disponibles_Prioridad_1) ELSE
0
Lim_Inf_Hras_Fund_022 = IF Decision_Fundición=1 THEN Inicio_de_Fundición ELSE
IF Decision_Fundición=2 THEN (Inicio_de_Fundición+Horas_Disponibles_Prioridad_1) ELSE
0
Lunes = 1
Martes = 2
Miercoles = 3
Piezas_requeridas__Bomba_022 = 1
Piezas_requeridas__Crank_022 = 1
Piezas_requeridas__Crank_Case_067 = 1
Piezas_requeridas__Front_022 = 1
Piezas_requeridas__Jacket_022 = 1
Piezas_requeridas__Jacket_067 = 1
Piezas_requeridas__Lateral = 1
Piezas_requeridas__Slab_022 = 1
Piezas_requeridas__Slab_067 = 1
Piezas_req__Front_Rear = 1
Produccion_Bombas = PROGRAMACION_A0022*Piezas_requeridas__Bomba_022
Produccion_Bombas_022 = IF PROGRAMACION_A0022>1 THEN
HISTORY(Produccion_Bombas,TIME) ELSE PROGRAMACION_A0022

```

```

Produccion_Crank_022 = IF PROGRAMACION_A0022>1 THEN (HISTORY(Crank_022,TIME))
ELSE PROGRAMACION_A0022
Produccion_Crank_Case_067 = IF PROGRAMACION_A0067>1 THEN
(HISTORY(Crank_Case_067,TIME)) ELSE PROGRAMACION_A0067
Produccion_Front_022 = IF PROGRAMACION_A0022>1 THEN (HISTORY(Front_022,TIME))
ELSE PROGRAMACION_A0022
Produccion_Front_Rear = IF PROGRAMACION_A0067>1 THEN
HISTORY(Produccion__Front_Rear,TIME) ELSE PROGRAMACION_A0067
Produccion_Jackets_022 = IF PROGRAMACION_A0022>1 THEN
(HISTORY(Jackets_022,TIME)) ELSE
PROGRAMACION_A0022
Produccion_Lateral = IF PROGRAMACION_A0067>1 THEN (HISTORY(Lateral,TIME)) ELSE
PROGRAMACION_A0067
Produccion_Slabs_022 = IF PROGRAMACION_A0022>1 THEN (HISTORY(Slabs_022,TIME))
ELSE PROGRAMACION_A0022
Produccion__Front_Rear = PROGRAMACION_A0067*Piezas_req__Front_Rear
Produccion__Jacket_067 = IF PROGRAMACION_A0067>1 THEN
(HISTORY(Jacket_067,TIME)) ELSE PROGRAMACION_A0067
Produccion__Slab_067 = IF PROGRAMACION_A0067>1 THEN (HISTORY(Slab_067,TIME))
ELSE PROGRAMACION_A0067
Prod_Bomba = IF Prog_Prod_Bomba_022>Cap_Prod_B__240 THEN Cap_Prod_B__240
ELSE Prog_Prod_Bomba_022
Prod_CC_067 = IF Prog_Prod_CC_067>Cap_Prod_CC_067__100 THEN
Cap_Prod_CC_067__100 ELSE Prog_Prod_CC_067
Prod_FR_067 = IF Prog_Prod_FR_067>Cap_Prod_FR_067__100 THEN
Cap_Prod_FR_067__100 ELSE Prog_Prod_FR_067
Prod_Lat = IF Prog_Prod_Lateral>Cap_Prod_Lat__90 THEN Cap_Prod_Lat__90 ELSE
Prog_Prod_Lateral
Resta_de_Piezas_SCRAP = PRODUCCION_A002
Resta_de_Piezas_SCRAP_A0067 = PRODUCCION_A0067
S#bado = 6
Scrap_022 = 0.06
Scrap_067 = 0.0936
Slab = IF Prog_Prod_Slab_022>Cap_Prod_S__200 THEN Cap_Prod_S__200 ELSE
Prog_Prod_Slab_022
Slabs_022 = PROGRAMACION_A0022*Piezas_requeridas__Slab_022
Slab_0067 = IF Programa_Prod__Slab_067>Cap_Prod_Slab_067_100 THEN
Cap_Prod_Slab_067_100 ELSE Programa_Prod__Slab_067
Slab_067 = PROGRAMACION_A0067*Piezas_requeridas__Slab_067
Tiempo_022 = 4
Tiempo_Enfr_CPH_067 = 4
Tiempo_Enf_067 = 4
Tiempo_Proc_Cadena[A022] = 1
Tiempo_Proc_Cadena[A067] = 1
Tiempo_Proc_Debastado[A022] = 1
Tiempo_Proc_Debastado[A067] = 1
Tiempo_Proc_Desm[A022] = 1
Tiempo_Proc_Desm[A067] = 1
Tiempo_Proc_Fund[A022] = 1
Tiempo_Proc_Fund[A067] = 1
Tiempo_Proc_Limpieza[A022] = 1
Tiempo_Proc_Limpieza[A067] = 1
Tiempo_Proc_Maquinado[A022] = 1
Tiempo_Proc_Maquinado[A067] = 0
Tiempo_Proc__Esmerilado[A022] = 1
Tiempo_Proc__Esmerilado[A067] = 1
Tiempo_Proc__Liberaci—n = 1
Tiempo_Proc__Pintura = 1
Viernes = 5
PROGRAMACION_A0022 = GRAPH(TIME)

```


0.00), (69.0, 0.00), (70.0, 0.00), (71.0, 0.00), (72.0, 0.00), (73.0, 0.00), (74.0, 0.00), (75.0, 0.00), (76.0, 0.00), (77.0, 0.00), (78.0, 0.00), (79.0, 0.00), (80.0, 0.00), (81.0, 0.00), (82.0, 0.00), (83.0, 0.00), (84.0, 0.00), (85.0, 0.00), (86.0, 0.00), (87.0, 0.00), (88.0, 0.00), (89.0, 0.00), (90.0, 0.00), (91.0, 0.00), (92.0, 0.00), (93.0, 0.00), (94.0, 0.00), (95.0, 0.00), (96.0, 0.00), (97.0, 0.00), (98.0, 0.00), (99.0, 0.00), (100, 0.00), (101, 0.00), (102, 0.00), (103, 0.00), (104, 0.00), (105, 0.00), (106, 0.00), (107, 0.00), (108, 0.00), (109, 0.00), (110, 0.00), (111, 0.00), (112, 0.00), (113, 0.00), (114, 0.00), (115, 0.00), (116, 0.00), (117, 0.00), (118, 0.00), (119, 0.00), (120, 0.00), (121, 0.00), (122, 0.00), (123, 0.00), (124, 0.00), (125, 0.00), (126, 0.00), (127, 0.00), (128, 0.00), (129, 0.00), (130, 0.00), (131, 0.00), (132, 0.00), (133, 0.00), (134, 0.00), (135, 0.00), (136, 0.00), (137, 0.00), (138, 0.00), (139, 0.00), (140, 0.00), (141, 0.00), (142, 0.00), (143, 0.00), (144, 0.00), (145, 0.00), (146, 0.00), (147, 0.00), (148, 0.00), (149, 0.00), (150, 0.00), (151, 0.00), (152, 0.00), (153, 0.00), (154, 0.00), (155, 0.00), (156, 0.00), (157, 0.00), (158, 0.00), (159, 0.00), (160, 0.00), (161, 0.00), (162, 0.00), (163, 0.00), (164, 0.00), (165, 0.00), (166, 0.00), (167, 0.00), (168, 0.00), (169, 0.00), (170, 0.00), (171, 0.00), (172, 0.00), (173, 0.00), (174, 0.00), (175, 0.00), (176, 0.00), (177, 0.00), (178, 0.00), (179, 0.00), (180, 0.00), (181, 0.00), (182, 0.00), (183, 0.00), (184, 0.00), (185, 0.00), (186, 0.00), (187, 0.00), (188, 0.00), (189, 0.00), (190, 0.00), (191, 0.00), (192, 0.00), (193, 0.00), (194, 0.00), (195, 0.00), (196, 0.00), (197, 0.00), (198, 0.00), (199, 0.00), (200, 0.00), (201, 0.00), (202, 0.00), (203, 0.00), (204, 0.00), (205, 0.00), (206, 0.00), (207, 0.00), (208, 0.00), (209, 0.00), (210, 0.00), (211, 0.00), (212, 0.00), (213, 0.00), (214, 0.00), (215, 0.00), (216, 0.00), (217, 0.00), (218, 0.00), (219, 0.00), (220, 0.00), (221, 0.00), (222, 0.00), (223, 0.00), (224, 0.00), (225, 0.00), (226, 0.00), (227, 0.00), (228, 0.00), (229, 0.00), (230, 0.00), (231, 0.00), (232, 0.00), (233, 0.00), (234, 0.00), (235, 0.00), (236, 0.00), (237, 0.00), (238, 0.00), (239, 0.00), (240, 0.00), (241, 0.00), (242, 0.00), (243, 0.00), (244, 0.00), (245, 0.00), (246, 0.00), (247, 0.00), (248, 0.00), (249, 0.00), (250, 0.00), (251, 0.00), (252, 0.00), (253, 0.00), (254, 0.00), (255, 0.00), (256, 0.00), (257, 0.00), (258, 0.00), (259, 0.00), (260, 0.00), (261, 0.00), (262, 0.00), (263, 0.00), (264, 0.00)

ANEXO C - Validación del sistema.

Saltillo, Coahuila. Enero 10, del 2010

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales
División de Estudios de Postgrado e Investigación
Presente.

Por medio de la presente hago constar que el proyecto de investigación realizado por el Ing. Cuauhtémoc Sánchez Ramírez, denominado "Sistema Dinámico de Evaluación Logística", el cual fue probado en dos de nuestras piezas productivas, obteniéndose resultados satisfactorios.

Entre los beneficios obtenidos con este proyecto, están:

- Desarrollo de un modelo de simulación que permitirá conocer nuestra cadena de suministro e identificar mejorar futuras en los mismos.
- Identificación de cuellos de botella en el proceso de producción
- Análisis de los inventarios en procesos y de producto terminado que se generan en la línea de producción

Quiero agradecer al Ing. Cuauhtémoc Sánchez Ramírez, el interés mostrado y el apoyo brindado a nuestro equipo, en el conocimiento y entendimiento de esta herramienta, que serán tomadas en cuenta en nuestros futuros procesos.


En este proyecto, se contó con la participación de:

Dr. Miguel Gastón Cedillo Campos. Tutor Académico

Dr. Pedro Pérez Villanueva. Asesor Académico

Para los fines que al interesado convengan, se extiende la presente a los diez días del mes de Enero de 2010, en la Ciudad de Saltillo, Coahuila.


Ricardo Arellano Lara
Gerente de Logística


Sergio Mendoza Rivera
Coord. Programación

Bvdo. Isidro López Zertuche #003
Zona Industrial, Col La Salle
Saltillo, Coahuila
Teléfono 844 411 20 51

ANEXO D – Difusión de resultados.

REVISTAS CIENTÍFICAS INDIZADAS CON ARBITRAJE INTERNACIONAL.

Sánchez, C., Cedillo, M.G., Pérez, P. and Martínez, J.L. (2010). En revisión. *Global Economic Crisis and Mexican Automotive Suppliers: Impacts on the Labor Capital*. Simulation Transactions of the Society for Modeling and Simulation International.

Cedillo, M.G., Sánchez, J. y **Sánchez, C.** (2006). *The New Relational Schemas of Inter-firms Cooperation: The Case of the Coahuila Automobile Cluster in Mexico*. *International Journal of Automotive Technology and Management* 2006 - Vol. 6, No.4 pp. 406 – 418.

LIBROS.

Cedillo, M.G. y **Sánchez, C.** (2008). *Análisis Dinámico de Sistemas Industriales* Editorial Trillas, México.

CONGRESOS INTERNACIONALES.

Sánchez, C., Cedillo, M. and Piña, M. (2010). *Dynamic Evaluation of Logistics Performance for Supply Chain Operating in Emerging Economies. Proceedings of the 15th Annual International Conference of Industrial Engineering Theory, Applications and Practice*. México D.F.

Sánchez, C., Cedillo, M.G, Perez, P. (2008). *Sensitivity of the Impact of Inventory and Cycle Time on Performance of the Automotive Supply Chain. Proceedings of the 13th Annual International Conference of Industrial Engineering Theory, Applications and Practice, Las Vegas, Nevada, USA*.

Sánchez, C., Cedillo, M.G. (2008). *Security in the Automotive Supply Chain, Process Analysis and Key Costs. Proceedings of the 13th Annual International Conference of Industrial Engineering Theory, Applications and Practice, Las Vegas, Nevada, USA*.

Sánchez, C., Cedillo, M.G, Piña, M. *“Model for Dynamic Analysis of Industrial Clusters: The Case of Supply Chain in the Automotive Cluster in the Southeast Region of Coahuila”*. *Proceedings of the 12th Annual International Conference of Industrial Engineering Theory, Applications and Practice, Cancun, México 2007.*

DIPLOMADOS - TALLERES.

Modelación y Evaluación Dinámica de Cadenas de Suministro. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de la Región Carbonífera. Sabinas, Coahuila. Diplomado con duración de 80 horas. Periodo 2008-2009.

Administración Dinámica de las Cadenas de Suministro. Instituto Tecnológico de Orizaba. Orizaba, Veracruz. Taller con duración de 40 horas. 2008.