

Resumen

En este trabajo fin de máster se emplea la dinámica de sistemas para evaluar los efectos que tienen las diferentes políticas de contratación de transportes y gestión de inventarios sobre los costes de distribución y el nivel de servicio. Y, basado en lo expuesto en la literatura se emplean las mejores prácticas para aprovechar las fortalezas que la dinámica de sistemas puede aportar a dicho análisis y al entendimiento del comportamiento del sistema.

El presente trabajo posee una estructura en la cual se describe la cadena de suministro a simular, seguido por el establecimiento de los objetivos de la simulación. Posteriormente, se realizará el modelo de simulación, en donde en primera instancia se desarrollará el diagrama causal seguido del diagrama de flujo a través de la herramienta de simulación Vensim®, a partir del cual se enlistarán las variables consideradas y se describirán las ecuaciones incluidas. Se continuará con la evaluación de los resultados de la simulación, a partir de los distintos escenarios planteados anteriormente. Finalmente, se realizarán las debidas conclusiones del trabajo, con las respectivas recomendaciones y futuros pasos a seguir.

Abstract

In the following project, system dynamics is used to evaluate the effects of different transport contracting and inventory management policies on distribution costs and the level of service. Based on what is presented in the literature, best practices are used to take advantage of the strengths that system dynamics can contribute to this analysis and to the understanding of the system behavior.

The present work has a structure in which the supply chain to be simulated is described, followed by the establishment of the objectives of the simulation. Then the simulation model will be realized, where in the first instance the causal diagram will be shown, to show the development of the flow diagram obtained through the Vensim® simulation tool, from which the considered variables will be listed and describe the included equations. The evaluation of the simulation results will continue based on the different scenarios previously discussed. Finally, the conclusions of the work will be made, with the respective recommendations and future steps to be followed.

Contenido

Resumen.....	1
Abstract.....	1
Abreviaturas.....	4
Índice de tablas.....	5
Índice de figuras.....	6
Objetivo y justificación del Trabajo de fin de máster.....	7
Objetivo.....	7
Justificación.....	7
Alcance y estructura del Trabajo de fin de máster.....	9
Alcance.....	9
Estructura.....	9
1 Estado del arte.....	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Metodología de búsqueda bibliográfica.....	12
1.3 Cuadro comparativo de artículos.....	12
1.4 Análisis y síntesis de artículos.....	17
1.5 Conclusiones.....	20
2 Descripción del problema.....	22
2.1 Introducción.....	22
2.2 Descripción de la cadena de suministro.....	23
2.3 Descripción de procesos de aprovisionamiento y suministro.....	25
2.3.1 Proceso de aprovisionamiento de centros de distribución.....	25
2.3.2 Proceso de suministro de producto terminado.....	26
3 Simulación del modelo.....	28
3.1 Objetivos de la simulación.....	28
3.2 Modelo de simulación.....	29
3.2.1 Diagrama causal.....	32
3.2.2 Diagrama de flujos.....	36
4 Evaluación de los resultados de la simulación.....	46
4.1 Simulación de escenarios planteados.....	46
4.2 Análisis de sensibilidad.....	52
5 Conclusiones.....	56
6 Referencias.....	57
7 Anexos.....	59

7.1	Datos y fórmulas del modelo de simulación	59
7.2	Diagrama de flujo completo.....	68

Abreviaturas

SKU	Stock Keeping Unit
CND	Centro Nacional de Distribución
S&OP	Sales & Operations Planning
SC	Supply Chain
SD	System Dynamics
DES	Discrete Event Simulation
CFA	Country Forecast Assignment
EPOS	Electronic Point of Sales
VMI	Vendor Managed Inventory

Índice de tablas

Tabla 1. Cuadro comparativo de artículos.....	12
Tabla 2. Artículos seleccionados para el análisis	13
Tabla 3. Evolución de trabajos sobre SC, Inv y SD.....	16
Tabla 4. Evolución de trabajos sobre SC, Transp y SD	16
Tabla 5. Evolución de trabajos sobre SC, Inv, Transp y SD.....	16
Tabla 6. Parámetros de la situación actual.....	28
Tabla 7. Escenarios con variación de la planificación de las capacidades de distribución	28
Tabla 8. Escenarios con variación en la gestión de inventario	29
Tabla 9. Descripción de subíndice empleado.....	33
Tabla 10. Descripción de variables empleadas	33
Tabla 11. Descripción de los parámetros empleados.....	35
Tabla 12. Variables de estado empleadas	39
Tabla 13. Variables de flujo empleadas	40
Tabla 14. Variables auxiliares empleadas	41
Tabla 15. Resultados de las roturas de stock de la situación actual	46
Tabla 16. Resultados de los costes de transporte de la situación actual	46
Tabla 17. Resultados de los quiebres de stock por escenario	47
Tabla 18. Resultados de los costes de transporte por escenario	47

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de distribución de helados a nivel nacional.	24
Figura 2. Sistema genérico de gestión del inventario.	30
Figura 3. Estructura para la toma de decisiones sobre la planificación de capacidades.	31
Figura 4. Diagrama causal del modelo de gestión de stock y políticas de contratación de transporte.....	32
Figura 5. Red de distribución de la zona Q	36
Figura 6. Red de distribución de la zona G	37
Figura 7. Red de distribución de la zona P	38
Figura 8. Red de distribución de la zona M	39
Figura 9. Variación del inventario en el centro de distribución G.....	48
Figura 10. Variación del inventario en el centro de distribución Q.....	49
Figura 11. Variación del inventario en el centro de distribución P	49
Figura 12. Variación del inventario en el centro de distribución M	50
Figura 13. Variación de la capacidad de transporte en los centros de distribución	51
Figura 14. Relación entre las variables demanda, pedidos agregados e inventario en las ventas	51
Figura 15. Gráfico de sensibilidad de la variable Capacidad de transporte.....	53
Figura 16. Gráfico de sensibilidad de la variable Inventario total	54
Figura 17. Gráfico de sensibilidad de la variable Ventas totales	54
Figura 12 Diagrama de flujo de la red de distribución	68

Objetivo y justificación del Trabajo de fin de máster

Objetivo

En el mundo de los negocios, los encargados de tomar las decisiones estratégicas necesitan de modelos comprensibles como guías para el proceso de toma de decisiones, con el fin de incrementar el beneficio total en toda la cadena de suministro.

Por lo tanto, en el presente trabajo se plantea como objetivo general realizar la simulación de una cadena de suministro con el fin de evaluar los efectos que tienen los diferentes factores, tales como la gestión de inventario y la gestión de la capacidad de transportes, en términos de costes (transporte) y nivel de servicio (roturas de stock), a partir de varios escenarios los cuales se los plantean como objetivos más específicos, para luego consolidar los resultados, analizarlos y realizar las debidas conclusiones del caso.

En consecuencia del objetivo general establecido, se propone el siguiente objetivo específico para el presente trabajo académico: facilitar el proceso de toma de decisiones sobre la planificación de las capacidades de distribución, específicamente, la contratación de la flota de transporte en una cadena de suministro en un entorno de incertidumbre con un horizonte temporal de un año, aplicando diferentes tipos de escenarios los cuales varían según su tiempo de disposición y adquisición de los vehículos.

Justificación

El presente trabajo académico se enfocará en estudiar el comportamiento de las políticas de gestión de inventario y gestión de la capacidad de transportes en una cadena de suministro mediante el uso de la dinámica de sistemas, debido a que la dinámica de sistemas es una forma reconocida de enfrentar los problemas que se relacionan con procesos continuos, en donde la retroalimentación de las variables del sistema afecta, significativamente, a la forma de comportarse el sistema, generando así cambios dinámicos en el comportamiento del mismo.

Además, se puede resaltar que algunas de las ventajas de emplear la dinámica de sistemas como método de modelado son: la simplicidad de la información necesaria, facilidad de la construcción del modelo de simulación y la rapidez con la que se puede ejecutar el modelo de simulación.

De esta forma, el presente trabajo permitirá ampliar de manera práctica las aplicaciones de la dinámica de sistemas en el ámbito de la gestión de inventarios y transporte, dado que en la actualidad existen pocos artículos académicos que aborden esta problemática. Puesto que en su gran mayoría, se enfocan, principalmente, a la gestión de los inventarios en busca de la reducción de sus niveles o la disminución de pedidos no abastecidos a causa de roturas de inventario, y, de forma puntual, a la gestión de transportes.

Cabe señalar que el presente trabajo fue iniciado, originalmente, como un proyecto académico de la asignatura de Simulación de la Cadena de Suministro del Máster en Ingeniería Avanzada de la Producción, Logística y Cadena de Suministro. En esta tesina de máster, dicho trabajo se ha extendido, considerablemente, incluyendo un estado del arte de la dinámica de sistemas y sus aplicaciones en la

gestión de inventario y de la capacidad de transportes. Además, se ha realizado el análisis de sensibilidad de los factores más relevantes, así como también el uso de subíndices para representar de mejor manera el problema.

Alcance y estructura del Trabajo de fin de máster

Alcance

A partir del trabajo de Georgiadis et al. (2005) se adoptó como referencia el modelo expuesto, ya que en este se emplea la metodología de dinámica de sistemas como una herramienta de análisis y modelado para hacer frente a las problemáticas que se presentan en la cadena de suministro. Al mismo tiempo, se analizan las políticas de planificación de capacidades de transporte para una cadena de suministro enfocada a la comercialización de alimentos.

En el artículo antes mencionado se tiene como objetivo facilitar el proceso de toma de decisión en la planificación de capacidades de transporte en una cadena de suministro multi-escalón en un entorno de incertidumbre. Y, ofrecer un marco de referencia de metodología el cual permita abarcar un espectro mayor de problemas estratégicos relacionados con la gestión de la cadena de suministro.

Es así que para este trabajo de fin de máster se adapta el modelo de Georgiadis et al. (2005) a la problemática que se presenta en la empresa en estudio. Para esto, se realizan ciertas modificaciones del modelo en cuestión de información de los parámetros de entrada y variables. Además, se han modificado varias de las suposiciones en las cuales se basaría el modelo con el fin de representar mejor la realidad de la compañía.

Cabe tener en cuenta que a pesar que el modelo causal desarrollado por Georgiadis et al. (2005) tiene sus similitudes al presentado en este trabajo los resultados que se buscan difieren debido a que el enfoque que se da a la resolución del mismo tiene su peculiaridad en cada caso. Adicionalmente, los escenarios que se emplearán a lo largo de este documento y la evaluación de cada uno de ellos serán de autoría propia puesto que estos no son expuestos en la literatura revisada.

Estructura

La estructura que sigue este trabajo de fin de master inicia con un estado del arte en donde se desarrolla la revisión bibliográfica sobre los estados del arte y los marcos conceptuales, seguido por una propuesta del marco de análisis. Seguidamente, se continúa con la metodología de la búsqueda bibliográfica, para luego exponer un análisis de los artículos encontrados, y finalizar con las conclusiones y futuras líneas de investigación.

Tras haber realizado el análisis de la literatura, se describe la problemática a abordar, en donde se describe la cadena de suministro y el proceso de suministro de producto terminado, con el fin de dar al lector un mejor entendimiento de lo que se desea tratar.

Posteriormente, se establecen los objetivos de la simulación junto con el modelo de simulación en donde se exponen el diagrama causal, para luego mostrar el desarrollo del diagrama de flujo obtenido a través de la herramienta Vensim®, en donde se enlistarán las variables consideradas y se describirán las ecuaciones incluidas. Para continuar con la evaluación de los resultados de la simulación a partir de los diferentes escenarios planteados, finalizando con las conclusiones finales del trabajo, y las recomendaciones y futuros pasos a seguir.

CAPÍTULO 1

ESTADO DEL ARTE

1 Estado del arte

1.1 Introducción

En la sección del estado del arte se establece una distribución tal que se inicia con una introducción del tema a abordar en este trabajo de fin de máster, seguido por una revisión bibliográfica sobre los marcos conceptuales y los estados del arte. Seguidamente, se continúa con una propuesta del marco de análisis, seguido por la metodología de la búsqueda bibliográfica empleada. Para finalizar con un análisis de la información recabada en los artículos seleccionados y las conclusiones respectivas.

El objetivo principal de una cadena de suministro se debe enfocar en entregar un producto o servicio al último eslabón de la cadena (cliente/consumidor final) al mínimo coste, con el mejor nivel de servicio y en el tiempo requerido.

En la actualidad, trabajar a ciegas con respecto a la demanda que se tiene, podría incrementar drásticamente el stock que se encuentra en cada eslabón de la cadena de suministro, afectar negativamente las decisiones que se toman a partir de previsiones de demanda y pedidos, y los planes de promociones por cada organización puede generar efectos adversos, por lo cual es muy arriesgado para las empresas ya que el efecto látigo (bullwhip efecto) puede ser catastrófico.

En los trabajos de (Holweg, et al, 2005) y (Disney & et al, 2005) se muestran varios tipos de sistemas de cadena de suministros que conviene revisar, como es el caso de la cadena de suministro tradicional, cadena de suministro con intercambio de información (en este caso, se mejoran las previsiones de la demanda en el proveedor a partir del conocimiento de la demanda al inicio de la cadena de suministro), reaprovisionamiento administrado por el vendedor (con este sistema el proveedor puede eliminar sustancialmente el efecto látigo debido a la información que obtiene), y la cadena de suministro sincronizada (en este sistema se reducen los niveles de inventario y se mejoran las previsiones de demanda).

En la literatura existen varios trabajos sobre el análisis de los impactos que las diferentes tecnologías y estrategias pueden tener sobre la gestión de inventarios y las operaciones de los transportes, tales como en el trabajo de (Disney, Potter, & Gardner, 2003), en el que se investiga la influencia del VMI (*Vendor Managed Inventory*) en una cadena de suministro tradicional empleando una metodología de dinámica de sistemas.

Por otro lado, en el trabajo presentado por (Campuzano-Bolarín, Mula, & Díaz-Madroñero, 2015) se expone una manera diferente de colaboración, la cual se basa en EPOS (*Electronic Point of Sales*) en donde la información sobre la venta hacia el cliente final es compartida a todos los miembros de la cadena de suministro. En este documento se demuestra por medio de la dinámica de sistemas la mejora en los resultados sobre los costes y el nivel de servicio a partir del EPOS.

En este proyecto se emplea la dinámica de sistemas para evaluar los efectos que tienen las diferentes políticas de contratación de transportes y gestión de inventarios sobre los costes de distribución y el nivel de servicio. Y, con base a lo expuesto por (Abbas, 1994) se emplean las mejores prácticas para aprovechar las fortalezas que la dinámica de sistemas puede aportar a dicho análisis y al entendimiento del comportamiento del sistema.

1.2 Metodología de búsqueda bibliográfica

Para realizar la búsqueda bibliográfica para este trabajo de fin de máster se emplearon las siguientes palabras claves: *supply chain* (cadena de suministro), *inventory* (inventario), *transport* (transporte) y *system dynamics* (dinámica de sistemas). Cabe tener en consideración que para realizar la búsqueda se colocaron estos términos y sus respectivas combinaciones entre comillas en los campos título, *abstract* y palabras claves, de tal forma que se limite adecuadamente la exploración en las siguientes bases de datos: Scopus, Science Direct, IEEE Xplore Digital Library y Emerald.

Primeramente, se realizó la búsqueda con los términos por separado, especificando el campo de búsqueda, como por ejemplo: título, palabras clave (*key words*) y *abstract* (resumen), para cada una de las bases de datos. De esta forma, se obtuvieron la cantidad de artículos encontrados en cada uno de los portales. Seguidamente, se realizó la misma actividad pero especificando que cada término aparezca en los tres campos de búsqueda indicados anteriormente. Finalmente, se realizó la combinación de cada una de las palabras clave.

A partir de lo antes realizado, se seleccionaron 23 artículos dependiendo de su fecha de publicación, cantidad de citas recibidas, el enfoque que tiene hacia las temáticas seleccionadas (gestión del inventario, gestión de la capacidad de transporte, mejorar el rendimiento de la cadena de suministro, estructura de cadena de suministro colaborativa y efecto látigo).

Seguidamente, se muestra la evolución que han tenido los términos de búsqueda combinados en los 10 últimos años, con el fin de demostrar el interés académico que existe sobre estas temáticas.

1.3 Cuadro comparativo de artículos

En la presente sección se muestran los cuadros comparativos de los artículos con respecto a los términos y campos de búsqueda, y las bases de datos en donde se realizó la búsqueda, a continuación se muestran los resultados del mismo (Tabla 1):

Tabla 1. Cuadro comparativo de artículos

Términos de búsqueda	Búsqueda en			Fuentes de búsqueda			
	Título	Palabras clave	Abstract	Scopus	Science Direct	IEEE Xplore	Emerald
Supply chain	x			30,711	4,281	4,558	1959
		x		51,604	5,830	9,606	3346
			x	57,562	8,697	8,156	3713
Inventory	x			35,134	6,577	1,560	305
		x		122,967	8,576	4,870	421
			x	173,993	32,849	5,349	1528
Transport	x			276,506	69,648	10,936	725
		x		917,587	50,601	52,113	734
			x	884,931	211,216	40,982	2001
Dynamic system	x			4,601	721	723	87
		x		11,777	1,158	13,194	85

Términos de búsqueda	Búsqueda en			Fuentes de búsqueda			
	Título	Palabras clave	Abstract	Scopus	Science Direct	IEEE Xplore	Emerald
			x	20,589	3,163	4,816	233
Supply chain	x	x	x	23,195	3,630	4,113	1515
Inventory	x	x	x	17,728	4,982	1,308	155
Transport	x	x	x	130,810	46,117	7,103	145
System dynamics	x	x	x	2,302	472	485	29
Supply chain			x	237	36	52	154
Inventory							
System dynamics							
Supply chain			x	29	5	5	64
Transport							
System dynamics							
Supply chain			x	12	1	2	49
Inventory							
Transport							
System dynamics							

A continuación, en la Tabla 2 se detallan los artículos más representativos encontrados en todas las bases de datos empleadas, para los cuales se indican en cada uno el año de publicación y temática, a partir de los cuales se realizó un mayor análisis para, posteriormente, emplearlos como base de esta tesina de máster.

Tabla 2. Artículos seleccionados para el análisis

Título	Autores	Año	Citas	Temática			
				Gestión de inventario	Gestión de transporte	Mejorar rendimiento en la CS	Estructura de CS colaborativa
A review of system dynamics models applied in transportation	Shepherd, S.P.	2014	15		x	x	
A supply chain dynamics model for managing perishable products under different e-business scenarios	Josefa Mula, Manuel Díaz-Madroñero, Francisco Campuzano-Bolarín	2015	0	x		x	x

Título	Autores	Año	Citas	Temática			
				Gestión de inventario	Gestión de transporte	Mejorar rendimiento en la CS	Estructura de CS colaborativa
A system dynamics model for the supply chain procurement transport problem: Comparing spreadsheets, fuzzy programming and simulation approaches	Mula, J., Campuzano-Bolarín, F., Díaz-Madroño, M., Carpio, K.M.	2013	7	x	x	x	
A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains	Patroklos Georgiadis, Dimitrios Vlachos, Eleftherios Iakovou	2005	92	x	x	x	
Assessing the impact of e-business on supply chain dynamics	S.M. Disney, M.M. Naim, A. Potter	2004	127	x		x	x
Customer-oriented improvement and evaluation of supply chain processes supported by simulation models	Gerald Reiner	2005	54			x	
Impact analysis of transport capacity and food safety in Bogota	Castro, J.A.O., Casilimas, W.A.G., Ramirez, M.M.H.	2015	0				
Industrial Dynamics Simulation Models in the Design of Supply Chains	Denis R. Towill	1992	194	x		x	x
Information sharing in supply chains	P. Fiala	2005	206			x	
Investigating the impact of demand amplification on freight transport	Andrew Potter, Chandra Lalwani	2008	18		x	x	
On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy	S.M. Disney, D.R. Towill	2003	216	x		x	
Research on inventory and transport in VMI mode	Che, X.Y.	2013	1	x	x	x	x

Título	Autores	Año	Citas	Temática			
				Gestión de inventario	Gestión de transporte	Mejorar rendimiento en la CS	Estructura de CS colaborativa
Simulation of stock control policies in a two-stage production system Application to pig slurry management involving multiple farms	François Guerrin	2004	9	x		x	
Supply Chain Collaboration: Making Sense of the Strategy Continuum	Matthias Holweg, Stephen Disney	2005	290				x
Supply chain dynamics: analysis of inventory vs. order oscillations trade-off	F. A. Villegas & N. R. Smith	2006	44	x		x	
Supply Chain Management in Food Chains: Improving Performance by Reducing Uncertainty	J. G. A. J. VAN DER VORST, A. J. M. BEULENS, W. DE WIT and P. VAN BEEK	1998	14			x	
System dynamics analysis for the impact of dynamic transport and information delay to disaster relief supplies	Min, Peng	2011	5		x	x	
System Dynamics Modelling in supply chain management: Research review	Angerhofer, Bernhard J., Angelides, Marios C.	2000	151	x		x	
Systems design of a two-echelon steel industry supply chain	Hafeez, K., Griffiths, M., Griffiths, J., Naim, M.M.	1996	45	x		x	x
The effect of Freight Transport Time changes on the performance of manufacturing companies	Sambracos, E., Ramfu, I.	2014	2		x	x	
The impact of freight transport capacity limitations on supply chain dynamics	Spiegler, V.L.M., Naim, M.M.	2014	7	x	x	x	x
The impact of transportation disruptions on supply chain performance	Wilson, M.C.	2007	178	x	x	x	x

Título	Autores	Año	Citas	Temática			
				Gestión de inventario	Gestión de transporte	Mejorar rendimiento en la CS	Estructura de CS colaborativa
The impact of vendor managed inventory on transport operations	Disney, S.M., Potter, A.T., Gardner, B.M.	2003	106		x	x	x

La Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5 muestran la evolución que han tenido la combinación de los términos: *supply chain*, *Inventory*, *transport* y *system dynamics* al ser estos los más representativos de la búsqueda.

Tabla 3. Evolución de trabajos sobre SC, Inv y SD

Supply chain & Inventory & System dynamics	Año									
	Fuentes de búsqueda	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Scopus	10	21	14	35	22	16	24	20	11	22
Science direct	1	2	0	4	0	3	3	7	3	2
Total	11	23	14	39	22	19	27	27	14	24

Tabla 4. Evolución de trabajos sobre SC, Transp y SD

Supply chain & Transport & System dynamics	Año									
	Fuentes de búsqueda	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Scopus	2	6	2	0	1	2	4	7	2	3
Science direct	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0
Total	2	7	2	0	1	2	4	8	4	3

Tabla 5. Evolución de trabajos sobre SC, Inv, Transp y SD

Supply chain & Inventory & Transport & System dynamics	Año									
	Fuentes de búsqueda	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Scopus	2	1	1	0	1	0	3	3	0	1
Science direct	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	3	1	1	0	1	0	3	3	0	1

Como se puede observar la cantidad de investigaciones realizadas sobre supply chain, inventario y dinámica de sistemas es mucho mayor en las que aparece el transporte como temática, y más aún cuando se trata de la combinación del estudio en el transporte y el inventario en la cadena de suministro con base en la dinámica de sistemas.

Por tal motivo, se puede notar que existe un mayor interés en la comunidad científica en el estudio de los inventarios en la cadena de suministro, y que a pesar que exista documentación sobre el análisis del transporte no se ha cubierto tanto el espectro de investigación para considerarlo como saturado.

1.4 Análisis y síntesis de artículos

A continuación, se presenta el análisis y síntesis de los artículos revisados que presentaron una mayor relevancia con respecto al tema tratado en este trabajo académico. Para empezar, se detallan las diferentes formas de abordar un problema que busque mejorar, de alguna forma, el rendimiento de la cadena de suministro.

En primera instancia, se puede nombrar a (Tako & Robinson, 2012), los cuales realizaron una búsqueda exhaustiva en la literatura, en donde se demuestran los niveles de aplicación de dos de los enfoques de modelado más utilizados, simulación de eventos discretos y dinámica de sistemas. A pesar que los dos tipos de modelado no difieren en gran proporción en la aplicación en los distintos niveles de decisión (estratégico, táctico y operativo), Tako & Robinson (2012) identifican que, en gran parte, la dinámica de sistemas está más enfocada a estudiar el efecto látigo, y que la simulación de eventos discretos a los demás campos.

Siguiendo la misma línea (Mula, Campuzano-Bolarin, Díaz-Madroñero, & Carpio, 2013) demuestran que la utilización de la dinámica de sistemas provee un mejor resultado en comparación con los obtenidos en simulaciones basados en hojas de cálculo y programación difusa multi-objetivo. En este caso, el modelo de simulación basado en la dinámica de sistemas permite conocer el mejor balance entre la capacidad de transporte y los niveles de inventario, teniendo en consideración que estos dos aspectos son inversamente proporcionales.

Además, Georgiadis et al. (2005) enfatizan que si las variables de entrada, tal como la demanda, es estacionaria se podría emplear tanto la dinámica de sistemas como la simulación de eventos discretos. Pero que si cualquier variable o parámetro, ya sea demanda, parámetros de política de inventarios, etc., están relacionados con el tiempo, la forma más apropiada para estudiarlos es la dinámica de sistemas.

Es por esto que a partir de lo antes mencionado se decide emplear la dinámica de sistemas para abordar la presente problemática. Además, para tener un mayor conocimiento del tema se ahondó más en la literatura.

De acuerdo con (Aracil, 1995), la dinámica de sistemas se puede definir como la metodología empleada para resolver problemas concretos que se presentan en nuestro entorno. Inicialmente, esta fue ideada para estudiar los problemas que aparecen en las cadenas de suministro debido a retrasos en el flujo de la información.

Después de un largo periodo en el que la investigación sobre la dinámica de sistemas en la cadena de suministro había tenido un descenso, (Angerhofer & Angelides, 2000) muestran las últimas aportaciones realizadas en este campo, para lo cual indican que, en su mayoría, el enfoque va dirigido hacia decisiones de inventario, políticas de gestión, amplificación de la demanda, diseño e integración de la cadena de suministro.

Una década después, (Campuzano & Mula, 2011) afirman que los modelos permiten representar la realidad y, de esta forma, entender de mejor forma el comportamiento dinámico de la cadena de suministro para que así se puedan tomar las decisiones para mejorar el rendimiento de la misma.

Con base a lo entendido sobre la dinámica de sistemas se puede profundizar un poco más en su aplicación a la gestión de transportes. Para esto, hay que considerar que en la gestión del transporte se pueden resolver varios tipos de problemáticas, dependiendo del enfoque que se le dé a esta metodología, ya que puede abordar temas como: análisis de infraestructuras, influencia de la fluctuación de la demanda en la gestión del transporte, relación entre las políticas del transporte y rendimiento de inventarios, entre otros.

Del mismo modo (Sheperd, 2014) logró sintetizar en su publicación las investigaciones más relevantes realizadas en los últimos 20 años sobre el modelado en dinámica de sistemas aplicados al transporte, en donde los más relevantes para este trabajo académico son los enfocados a la gestión del mismo, puesto que en sí las infraestructuras, nuevas tecnologías e intermodalidad, no entran en el enfoque. Como consecuencia de la lectura del artículo de Sheperd (2014), se logra abrir mucho más el abanico de información con el cual se logra enriquecer aún más el presente trabajo.

Para esto, cabe hacer notar que en el trabajo de (Orejuela, Casilimas, & Herrera, 2015), en donde se realiza un estudio del comportamiento dinámico entre la infraestructura del transporte y una cadena de suministro enfocada al sector alimenticio, se confirma que una correcta infraestructura permite brindar un adecuado nivel de servicio a los clientes.

(Mason & Chandra, 2006) afirman que en una cadena de suministro, mientras más rápido es el flujo de los materiales, información y dinero se la podría considerar como más eficiente debido a que permite brindar mejor servicio al cliente y una mejor toma de decisiones. El transporte por su parte es uno de los vínculos principales que permite el flujo de los materiales, contribuyendo así a alcanzar el objetivo de la empresa.

Si la información correspondiente a la demanda no se transmite correctamente, se puede tener un mayor impacto negativo de la variación. Por lo cual se puede afirmar que cualquier aumento en la variación de la demanda activa un rápido incremento en los gastos de transporte a causa de la adquisición adicional de capacidad para suplir las entregas. Por otro lado, se puede dar la situación de tener capacidad de transportes subutilizadas, debido a un descenso en los suministros. (Potter & Lalwani, 2008) hacen hincapié en que es sumamente importante asegurar la velocidad con que las compañías de transportes pueden variar las capacidades ofrecidas con el fin de adaptarse de mejor manera a las circunstancias, sin generar costes logísticos adicionales. Se puede resumir que el rendimiento de la gestión de transportes en una cadena de suministro se ve afectada por la amplificación de la variación de la demanda, tanto en costes como eficiencia (Potter & Lalwani, 2008).

A partir de los estudios realizados por (Forrester, 1958) se han desarrollado una gran cantidad de investigaciones acerca del efecto látigo a lo largo de la cadena de suministro, pero se observa que existe una mayor concentración hacia los inventarios, servicio al cliente y producción.

(Sterman, 1989), a través de su trabajo logró desarrollar un modelo genérico de un sistema de gestión de inventario, el mismo que en el presente documento se emplea como punto de partida para la elaboración de la propuesta original adaptado a la problemática de la empresa, tal como lo realizó Georgiadis et al. (2005).

Por medio de su trabajo, (Guerrin, 2004) busca responder dos de las preguntas más importantes que surgen en el momento de realizar el aprovisionamiento, que son: cuándo realizarlo y cuánto reaprovisionar. A través de la dinámica de sistemas se simulan varios escenarios con distintas políticas de inventario para analizar el comportamiento de los indicadores de inventario.

A partir de las cuatro causas que generan el efecto látigo según Lee et al. (1997), el efecto de promoción, el efecto Houlihan, el efecto Forrester, causado por los tiempos de entrega y el procesamiento de pedidos, y el efecto Burbidge, (Disney & Towill, 2003) estudian los motivos por el cual se produce el efecto bullwhip a lo largo de la cadena de suministro. Con esta información, se analiza cómo las políticas de generación de pedidos de aprovisionamiento pueden afectar a las variaciones de inventario. Además, se estudia el impacto que tienen las previsiones de la demanda y los periodos de revisión en las variaciones de los inventarios en cada nodo de la red de suministro.

Ahora, revisando el transporte y los inventarios se tiene que, en la actualidad, una gran parte de las personas encargadas de gestionar los transportes en una empresa aceptan que la variación de la demanda ocurre y, por lo tanto, intentan ajustar sus operaciones a su entorno (Steinke, Stonebraker, & Ross, 2003). De este modo, las organizaciones deben tomar decisiones importantes sobre la capacidad fija de transporte y debido a los picos de demanda, cuál sería la capacidad subcontratada. Del mismo modo, para poder satisfacer la demanda del mercado, las organizaciones deben establecer cuáles serán los niveles de stock de seguridad.

(Che, 2013) demuestran a través de la dinámica de sistemas que la implementación de un modelo de gestión colaborativa de la cadena de suministro, por ejemplo VMI, puede mejorar significativamente el rendimiento económico del inventario y el transporte.

Por otro lado, las limitaciones de capacidad de transporte tienen un impacto negativo en los inventarios y otros gastos de la cadena de suministro. A través de la simulación del conocido juego de la cerveza y la dinámica de sistemas, (Spiegler & Naim, 2013) demuestran cómo influye la gestión de la capacidad de transportes en el inventario y demás costes de la cadena de suministro.

Las decisiones que se toman acerca de la gestión de la capacidad de transportes pueden llegar a distorsionar la demanda debido a estrategias de lotificación con el fin de optimizar la capacidad de transporte y, por lo tanto, afectar a la eficiencia de los inventarios (Holweg & Bicheno, 2000). Así como también se puede dar que debido a la ausencia en la capacidad de transportes no permita que el flujo de materiales ocurra en la cadena de suministro generando desviaciones en los inventarios.

La manera en como se hacen los pedidos de aprovisionamiento entre los miembros de la cadena de suministro (por ejemplo, por punto de reorden, cantidad económica de pedido, etc.) junto con los efectos de las restricciones en el transporte pueden afectar al nivel de servicio y los inventarios (Juntunen & Jari, 2009). Conviene subrayar que lotes mayores de transporte no necesariamente incrementan los niveles de servicio pero que, por otro lado, lotes menores de transporte reducen significativamente los niveles y variaciones de inventario.

Los costes totales de inventario pueden disminuir a medida que los viajes de transporte para el aprovisionamiento sean más frecuentes y con menores tamaños de lote (Naim, Potter, Mason, & Nicola, 2006). Éste último también afirma que la colaboración puede aumentar la flexibilidad del transporte mientras que se mejora la satisfacción hacia el cliente y se garantiza la minimización de los costes totales logísticos.

Los modelos de dinámica de sistemas aplicados al análisis del comportamiento de las variaciones en la producción y distribución de materiales, a partir del establecimiento de políticas de inventario como el stock de seguridad con el fin de mejorar la toma de decisiones es una de las propuestas que establece (Villegas & Smith, 2006). En este trabajo, se busca determinar la mejor forma de compensar los resultados con respecto a los indicadores de inventario versus los de transporte y producción.

1.5 Conclusiones

Como resultado de la investigación bibliográfica realizada, es posible concluir que hasta el día de hoy se han realizado una cantidad considerable pero no suficiente de estudios sobre el comportamiento de las políticas de inventario y la gestión de la capacidad de transportes en conjunto por medio de la dinámica de sistemas.

Si bien se pueden encontrar por separado investigaciones sobre la resolución de problemas con enfoque a la mejora del rendimiento de los recursos de transporte y a la gestión de inventarios, en cuanto a un análisis combinado en donde se evalúen las relaciones que existen entre estos dos factores es menor la cantidad de literatura encontrada.

Varios autores resaltan que la relación existente entre los indicadores de rendimiento en la gestión de transportes y de inventario son inversamente proporcionales, por lo cual se genera una discrepancia al momento de la toma de decisiones sobre a qué factor darle mayor importancia, y enfocar la mayor cantidad de esfuerzos para mejorarla.

A pesar que en la literatura científica se pueden encontrar una gran cantidad de trabajos académicos en donde se busque resolver la problemática de determinar el balance entre el rendimiento del inventario y el transporte dentro de una red de suministro, la dinámica de sistemas tiene una mayor presencia en cuanto a una mayor aplicabilidad. Debido a la necesidad de analizar cadenas de suministro dinámicas que a partir de variaciones de factores reaccionen y alteren su comportamiento, se puede concluir que la utilización del modelado y simulación empleando la dinámica de sistemas es la mejor alternativa entre las demás opciones.

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

2 Descripción del problema

2.1 Introducción

Oso Polar (nombre ficticio) es la marca de productos congelados líder y más amada en Ecuador; con presencia en más de 34 países y una larga trayectoria de más de 60 años en Ecuador ofreciendo la mejor calidad en sus helados. Las instalaciones de la empresa ocupan un área de 33.000 m², de las cuales las edificaciones industriales tienen un área de 11.300 m².

Esta categoría forma parte de un grupo multinacional, la cual tiene su planta y centro nacional de distribución (CND) en Guayaquil (G). Esta matriz (planta y CND) es la encargada de abastecer a sus centros de distribución ubicados en Machala (M), Portoviejo (P) y Quito (Q), y así también debe distribuir sus productos a su red secundaria de clientes (distribuidores) y clientes finales ubicados en todo el territorio nacional (tiendas, supermercados, etc.) Cabe tener en consideración que en el momento de realizar este proyecto, únicamente, se toma en cuenta a los clientes finales, es decir, a las tiendas, supermercados, etc., también conocido como la pre venta.

Hoy en día, la empresa posee 74 referencias en su cartera de productos, repartidos en 6 familias (Paletería, Take Home, Scooping, Desserts, Joyas locales y Kids), las cuales se diferencian en su presentación al consumidor, a pesar de este dato de entrada en el desarrollo del trabajo de fin de máster se tratarán todas estas referencias como una sola por motivos de simplificación del proceso de estudio.

En la actualidad, la empresa posee un proceso de S&OP maduro, es decir, que el negocio tiene un proceso integral de gestión y toma de decisiones el cual crea sinergia entre todos los departamentos con el fin de balancear la demanda y el suministro, alinear los planes comerciales, operativos y financieros con la estrategia de la compañía en un horizonte de tiempo adecuado, lo cual le permite que su proceso de planificación de capacidades de transporte y gestión de inventarios no sea tan aislado de los demás procesos del negocio.

El proceso de S&OP consiste en obtener el mejor estimado de las áreas que generan / influyen la demanda, como lo son los departamentos de marketing, trade marketing, ventas, etc., y conocen el mercado sin tener en cuenta las restricciones de suministros. Seguidamente, el plan de demanda es balanceado con las capacidades de flujo de la cadena, identificando los cuellos de botella y las opciones factibles para solucionar. Antes de realizar la reunión en donde se revisa el S&OP, se generan los escenarios que se pueden dar en el horizonte de tiempo con el fin de tomar acciones en cuanto a capacidad *versus* demanda, así como también alinear el plan de ventas *versus* los objetivos de negocio obteniéndose los estados financieros proyectados.

El S&OP de la empresa Oso Polar es revisado anualmente por los altos directivos a nivel regional (Ej.: América Latina), los cuales a partir de los objetivos de negocio (Underlying Sales Growth, Gross Margin, Profit Before Indirects y Core Operating Margin) establecidos a nivel regional se proporcionan a los Directores de cada área, para que en cada uno de los equipos planteen las estrategias respectivas para alcanzar las distintas metas, por ejemplo: el equipo comercial se reúne para establecer las estrategias de marketing (promociones, descuentos, lanzamiento de innovaciones, etc.) para alcanzar los objetivos de ventas, el equipo de cadena de

suministro se reúne para determinar las estrategias de producción, aprovisionamiento y distribución para cumplir con el máximo de gastos en sus departamentos.

A partir de las métricas regionales establecidas, se realiza una reunión conocida como CFA (*Country Forecast Assignment*), en donde los representantes de los departamentos de ventas, marketing, trade marketing, finanzas, supply y demand planning realizan los ajustes de las metas de ventas mensuales (teniendo en cuenta el objetivo de ventas anual) para cada una de las familias de productos. Con esta información, el planificador de la demanda con toda la información de entrada obtenida calcula la cantidad de cajas a vender para cada uno de los SKU para cada mes.

El pronóstico de demanda es empleado por varios departamentos para tener un marco de referencia con el cual establecerán sus estrategias, políticas y capacidades para hacer frente a las metas que deben cumplir. Por ejemplo, el departamento de distribución estima los porcentajes de ocupación de sus almacenes y proporciona cualquier alerta en el caso de estimar una falta de capacidad de almacenamiento de producto terminado, también planifica sus capacidades de suministro en cuanto a mano de obra y transportes.

Como en todo entorno con incertidumbre siempre existe la posibilidad de que la demanda tenga variaciones a lo largo del tiempo, por tal motivo, se realizan revisiones periódicas al pronóstico de la demanda con lapsos de 30 días, y también esporádicamente cuando existen eventualidades de mercado o de suministro.

2.2 Descripción de la cadena de suministro

El siguiente trabajo enfoca los esfuerzos en modelar una cadena de suministro del sector de alimentos congelados ubicado en Ecuador. La cadena de suministro está compuesta por una fábrica que se encuentra junto al almacén central (G), el mismo que se encarga de abastecer de producto terminado a otros dos almacenes de menor capacidad que se encuentran en otras ciudades (M y P) empleando camiones cuyo volumen de transporte es de 6500 litros, también se debe tener en cuenta que existe otro almacén (Q) que se abastece directamente de la fábrica pero, por otro lado, esta transferencia de producto se realiza con contenedores con una capacidad de 15000 litros. Entre la planta y el almacén central (G) no se necesita de una flota de transportes para realizar el traspaso de producto debido a que físicamente la planta y la bodega se encuentran conectadas.

En cuanto a la distribución secundaria, cada uno de los almacenes antes mencionados atienden a la demanda que se encuentra en sus cercanías, esta demanda es conocida como preventa, se caracteriza por ser pequeños puntos de venta repartida por toda la zona de cobertura. El producto es entregado por medio de camiones refrigerados con una capacidad aproximada de 1200 litros.

Debido a que todos los almacenes son de propiedad de la empresa en estudio se puede afirmar que se conocen las políticas de inventario, se busca aprovechar al máximo la capacidad de los camiones en el momento de realizar los suministros y transferencias, los tiempos de suministro son estrictamente los establecidos debido a los procesos estandarizados para el abastecimiento y el tiempo para realizar el suministro de producto a los clientes finales son los determinados por las políticas de suministro.

A pesar que todos los almacenes forman parte de la misma empresa cada uno de ellos negocia con la empresa de transportes la capacidad de camiones a requerir para realizar la distribución en la red de preventa. Ya que al haber un líder en cada una de las bodegas, las decisiones de capacidad se toman de manera aislada tomando en consideración las necesidades de cada uno.

Hoy en día, a estos camiones se los contrata de alquiler, y la cantidad contratada tiene una duración de 20 días, es decir, una vez concretada una capacidad no se puede disminuir la cantidad de camiones hasta que hayan pasado 20 días, mientras que para agregar un camión adicional a la flota de transportes estipulada es necesario 5 días de antelación para que la empresa de transportes pueda realizar la adquisición de dicho camión. Sin embargo, en el caso que se necesite una unidad de transporte de manera emergente por un día, esta se puede solicitar como adicional teniendo en consideración que el coste del alquiler diario es relativamente mayor a lo que se paga mensualmente.

Por otro lado, para el caso de los camiones de 6500 litros y contenedores, en la actualidad, se tiene que estos medios de transporte se solicitan con uno o dos días de anticipación para realizar la carga del producto. El uso y pago de estos camiones es por viaje, es decir no se alquilan por un tiempo determinado, sino que cada vez que se realice un viaje este tiene un coste específico.

A continuación, se muestra gráficamente el mapa de distribución para un mayor entendimiento de la distribución geográfica de los almacenes y la red de distribución que tiene cada uno de ellos (Figura 1).

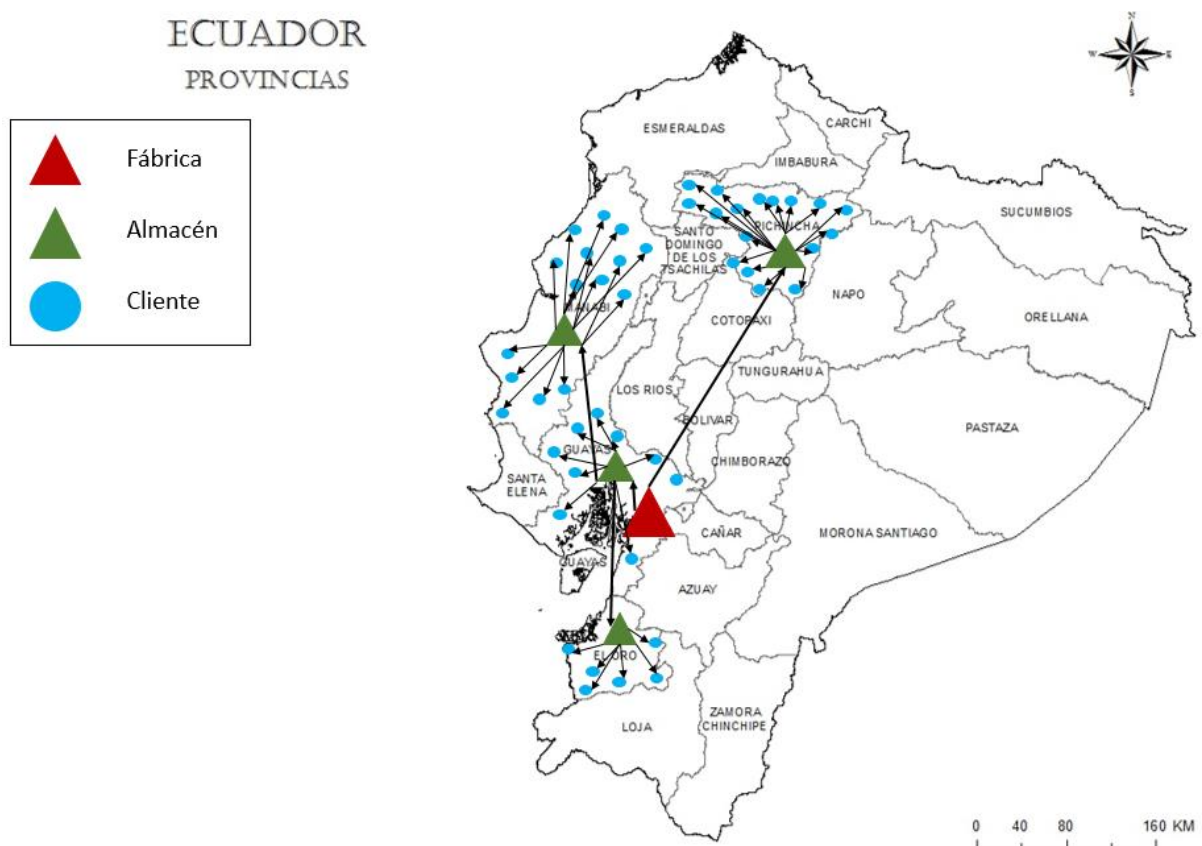


Figura 1. Mapa de distribución de helados a nivel nacional.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo expuesto anteriormente en la sección de introducción, se puede definir que la cadena de suministro tradicional es la que se va a estudiar en este proyecto, debido a que se pudo comprobar que la cadena de suministro, actualmente, no cuenta con un sistema de transmisión de la información de las ventas en tiempo real, y su reaprovisionamiento se basa en pedidos los cuales se activan a partir de un punto de reorden. También, se pudo notar que la empresa en estudio no es capaz de visualizar o conocer el stock de sus clientes debido a que ellos no cuentan con un sistema en el cual se mantenga actualizado y cada vez que se requiere dicha información los clientes deben realizar un inventario físico, el cual, únicamente, se realiza en casos extremos.

De acuerdo con la estructura planteada por Georgiadis et al. (2005) en cuanto a la gestión de transportes y, del mismo modo, el sistema genérico de gestión de inventario diseñado por (Sterman, 1989), se realiza una adaptación teniendo en cuenta características específicas de la problemática de la empresa en estudio como, por ejemplo, capacidades restringidas de almacenamiento, proceso de aprovisionamiento de las sucursales M y P empleando otro tipo de transporte del cual también se realizará un análisis.

Si se considera con más detalle el trabajo realizado por Georgiadis, et al (2005), se puede identificar que la parte del modelo de gestión de inventarios se basa en el modelo genérico de Sterman (1989) y que, únicamente, la sección de gestión de transportes representa una contribución original a su aportación, debido a que en la literatura no se ha encontrado algo similar.

Es por este motivo que a partir de estos modelos de gestión de inventarios y de transportes, se decide tomar como punto de partida para representar la realidad de la empresa con el fin de simular los distintos escenarios y validar las mejores alternativas, para cada uno de los casos.

2.3 Descripción de procesos de aprovisionamiento y suministro

2.3.1 Proceso de aprovisionamiento de centros de distribución

El siguiente proceso se activa una vez que el coordinador de alguna de las regionales identifica la necesidad de producto. Una vez se haya determinado los requerimientos de productos, este solicita al centro nacional de distribución el tipo y cantidad de materiales, teniendo en consideración que dependiendo cuál sea su ubicación se verá afectado el tiempo de espera hasta que llegue lo pedido.

Cuando una solicitud de abastecimiento es recibida por el centro nacional de distribución, se requiere a la compañía de transportes el camión para realizar la carga, especificando el tamaño y la hora de llegada a las instalaciones. Además, se realiza la preparación del pedido para que cuando llegue el medio de transporte, el producto se encuentre listo para la carga.

Seguidamente que el camión haya sido cargado, este se dirige a su punto de destino. El tiempo de traslado depende del lugar a dónde se dirija. En los siguientes apartados se detallan los tiempos que rigen para cada uno de los destinos. Para cuando el camión llega a la regional, se realiza la descarga física y, también, se realiza la recepción del producto en sistema, con el fin de tener actualizado los inventarios, tanto físicamente como en el ERP.

2.3.2 Proceso de suministro de producto terminado

El proceso de suministro de producto terminado es semejante para cada uno de los centros de distribución, debido a que, en general, todos los procesos se encuentran estandarizados.

Todos los días, los vendedores recorren sus rutas de venta generando pedidos, los mismos que son ingresados al ERP. Entre las 18:00 y 19:00, el equipo de distribución se encarga de consolidar los pedidos y los gestionan para que sean suministrados a primera hora del día siguiente. Estos pedidos son preparados y cargados entre las 23:00 y las 07:00, horario que corresponde al tercer turno de labores del departamento. A partir de las 07:00, los transportistas reciben su documentación (facturas, etc.) y se dirigen hacia sus puntos de entrega.

Cabe tener en cuenta que las entregas de los pedidos son previamente acordadas con los vendedores, los mismos que comunican al departamento de distribución para que estos lo cumplan con el fin de evitar cualquier rechazo del material a ser entregada. Por esta razón, el tiempo de suministro que se considera en el presente trabajo desde que el cliente realiza el pedido hasta que lo recibe se considera que es de 1 día.

CAPÍTULO 3

SIMULACIÓN DEL MODELO

3 Simulación del modelo

3.1 Objetivos de la simulación

Los objetivos de la simulación del modelo de la cadena de suministro descrita son analizar su comportamiento a través de diferentes escenarios en donde varían ciertos parámetros, tales como: tiempo de disposición y adquisición de camiones, y el punto de reorden y posición deseada del inventario.

La elección de los parámetros de entrada se ha realizado por medio de consulta a los altos directivos del departamento de distribución de la empresa, teniendo en consideración los que se estiman tienen un mayor impacto sobre los indicadores de rendimiento.

A partir del estado actual, el cual se conoce por medio de la investigación dentro de la empresa, se obtienen los siguientes datos para los parámetros de tiempo de disposición y adquisición de la flota de transportes, así como también el punto de reorden y posición deseada del inventario. Esto se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Parámetros de la situación actual

	Tiempo de disposición	Tiempo de adquisición	Punto de reorden	Posición deseada del inventario
Estado actual	20 días	5 días	5 días	10 días

Del mismo modo, a partir de la información proporcionada por la organización, se obtuvieron los diferentes escenarios que se podrían manejar para los parámetros antes mencionados. En el caso de la compañía de transportes, se identificó la siguiente información que se muestra en la Tabla 7. El análisis del comportamiento de la capacidad y los costes del transporte forman parte de los objetivos específicos de este trabajo de fin de máster.

Tabla 7. Escenarios con variación de la planificación de las capacidades de distribución

	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	Esc 7
Tiempo de disposición	30 días	20 días	10 días	5 días	30 días	30 días	30 días
Tiempo de adquisición	7 días	5 días	3 día	1 día	7 día	7 día	7 día

También, se plantea como objetivo específico, el modelado del comportamiento de los niveles de stock y sus efectos sobre el nivel de servicio en cuanto a la satisfacción de la demanda de las diferentes zonas de venta, realizando variaciones a los puntos de reorden y la posición deseada del inventario para cada centro de distribución. A continuación, se muestran los escenarios establecidos (Tabla 8).

Tabla 8. Escenarios con variación en la gestión de inventario

	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	Esc 7
Punto de reorden	7 días	7 días	7 días	7 días	5 días	3 días	1 días
Posición deseada del inventario	7 días	7 días	7 días	7 días	10 días	13 días	16 días

En la Tabla 8 los valores que se muestran se encuentran en días a pesar que los valores analizados se refieren a la cantidad de stock, esto es debido a que la variación que se realiza para cada centro de distribución es la cantidad de stock a partir de la cantidad de días de cobertura que ofrecen, que se obtiene a partir de la media de la demanda.

Cabe considerar que, únicamente, se establecen estos escenarios ya que son los más representativos en términos de variación de políticas de gestión de transportes y de inventario. A partir de la evaluación de los resultados provenientes de la simulación, se pretende, también, encontrar alguna correlación entre la variación de los parámetros y los resultados obtenidos en cuestión de servicio al cliente (roturas de stock) y los costes logísticos (costes de transporte).

3.2 Modelo de simulación

A lo largo de la cadena de suministro, los líderes deben de enfrentarse a una gran gama de toma de decisiones con el fin de incrementar los beneficios de la misma, algunos ejemplos son: la ubicación y capacidad de las instalaciones (fábricas, almacenes, etc.), la forma cómo los materiales deben de fluir a través de la red logística, políticas de inventario, planificación de las capacidades (producción, transporte, etc.), integración de la cadena de suministro y más. Por tal motivo, en esta sección se elabora un modelo de simulación que a través de la dinámica de sistemas busca facilitar el entendimiento y analizar el comportamiento para una correcta toma de decisiones en la planificación de las capacidades de transporte y las políticas de inventario.

La estructura que posee el siguiente modelo se basa en la dinámica de sistemas, en donde, básicamente, se muestran los diagramas de bucles causales en donde estos muestran el mejor mecanismo de retroalimentación para cada una de sus influencias. Según Georgiadis et al. (2005), los diagramas causales juegan un rol muy importante en la dinámica de sistemas, esto se debe a dos grandes motivos: el primero, enuncia que durante el desarrollo del modelado ayudan a representar de manera preliminar las hipótesis causales. Y, en segundo lugar, ayudan a simplificar la representación del modelo.

Tal como se plantean en varios trabajos en el que se desarrollan modelos de dinámica de sistemas (Minegishi & Thiel, 2000), (Sheperd, 2014), (Wilson, 2007), las variables de estado (o nivel), de flujo y auxiliares, forman parte del modelo que se presentará a continuación (Figura 2). Cabe tener en cuenta que las variables de nivel o también conocidas como de estado, son variables que, básicamente, se usan como acumuladores, por ejemplo, el inventario. Mientras que las variables de flujo representan tasas de cambio en el sistema como, por ejemplo, la venta de

producto o la tasa de producción. Las variables auxiliares, generalmente, se utilizan para representar datos constantes, o para realizar cálculos en el sistema como, por ejemplo, la demanda.

Para el caso de la estructura del modelo de inventarios se toma en consideración el sistema genérico de gestión del inventario propuesto por (Sterman, 1989), el mismo que se muestra a continuación (Figura 2):

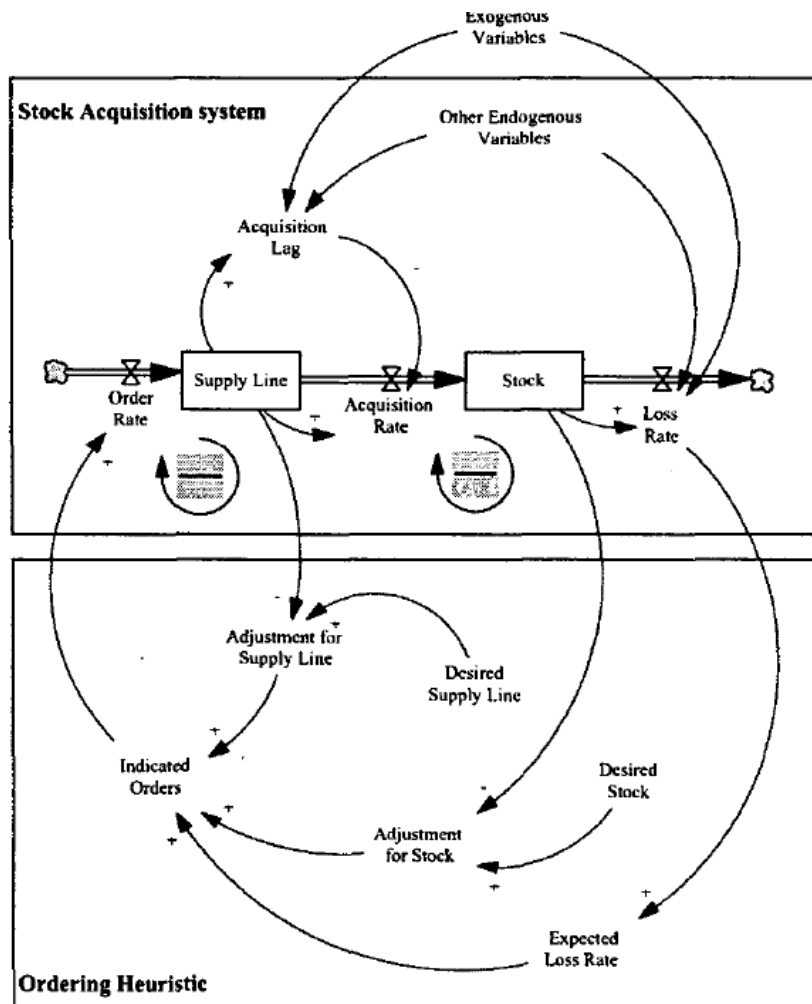


Figura 2. Sistema genérico de gestión del inventario.
Fuente: Sterman (1989)

En este diagrama causal se pueden visualizar los bucles que existen y la relación de las variables que tienen entre sí. De esta forma, se emplea este modelo y se adapta a las necesidades que se tiene de representar a la empresa objeto de estudio.

Por otro lado, se tiene la estructura para la toma de decisiones con respecto a la planificación de transportes desarrollado por Georgiadis et al. (2005), en este se muestra como a partir de las necesidades de capacidad y la capacidad actual, se generan los requerimientos de capacidad de transportes a la compañía prestadora de servicios.

Así mismo, se muestra como se relacionan las variables entre sí y los bucles que estas generan. También, se puede resaltar el comportamiento de la capacidad de expansión de transportes y la disposición de la misma debido a una subutilización.

Por tanto, este modelo se puede ajustar al comportamiento de la empresa, de tal forma, que represente correctamente las variables y sus relaciones, además de introducirle los datos de entrada correspondientes (Figura 3).

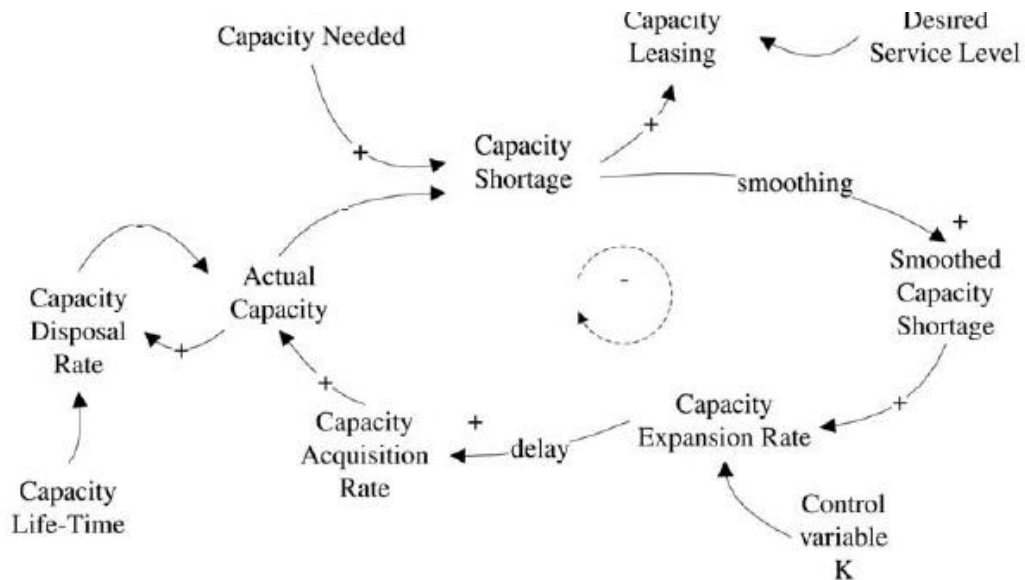


Figura 3. Estructura para la toma de decisiones sobre la planificación de capacidades.

Fuente: Georgiadis, et al (2005)

3.2.1 Diagrama causal

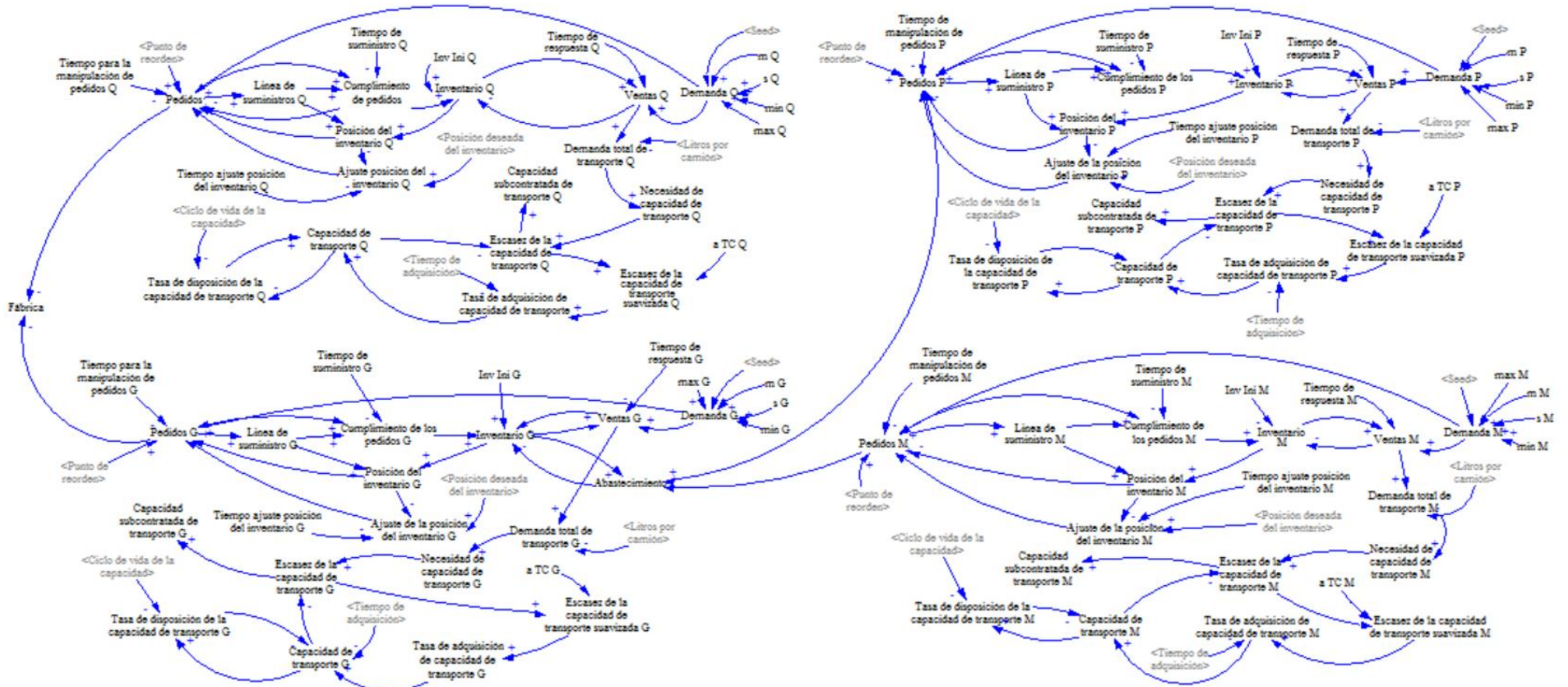


Figura 4. Diagrama causal del modelo de gestión de stock y políticas de contratación de transporte

La Figura 4 presenta un diagrama causal en el cual claramente se evidencian cuatro subdiagramas agrupados, los cuales representan las redes de distribución de cada una de las zonas de ventas (G, Q, P y M), cada uno de estos tienen su semejanza en el diagrama causal con los otros, debido a que las variables que aparecen en estos y su forma de influencia unas con otras tienen la misma configuración.

Las flechas representan la relación entre las variables. La dirección de la influencia de las flechas muestran la dirección del efecto que estas tienen una sobre otras. Los signos positivos y negativos en la parte superior del final de la flecha denotan el sentido del efecto. Es decir, cuando es positivo las variables cambian en la misma dirección, mientras que si el signo negativo las variables cambian en sentido contrario Georgiadis et al. (2005).

Para iniciar con la descripción de las variables mostradas en la Figura 4, se establece un subíndice para representar a las familias de producto dentro del modelado del problema, tal como se muestra a continuación:

Tabla 9. Descripción de subíndice empleado

Notación	Descripción	Unidades
i	Familia de productos (Paletteria, Take Home, Scooping, Desserts, Joyas locales, Kids)	Item

Adicionalmente, se detalla cada una de las variables empleadas en el modelo causal con su respectiva descripción:

Tabla 10. Descripción de variables empleadas

Notación	Descripción	Unidades
D_i	Demanda: Demanda del producto final generada por el mercado proporcionada por la empresa, esta no es acumulable, es decir, la demanda que no se satisface en un periodo se pierde.	Items/day
De_i	Demanda esperada: Distorsión de la demanda en el tiempo, debido al flujo de información se demora un tiempo determinado para que llegue al ente generador de pedidos de reabastecimiento del producto final.	Items/day
V_i	Ventas: Satisfacción de la demanda la cual está restringida por el nivel de inventario de producto terminado.	Items/day
$Abst_i$	Abastecimiento: Requerimiento de producto terminado por parte de los centros de distribución que no tienen abastecimiento directo de planta.	Items/day
Inv_i	Inventario: Nivel de inventario de producto terminado de cada centro de distribución, el cual disminuye a partir de las ventas y aumenta con los pedidos	Items

Notación	Descripción	Unidades
	completados, la información del estado de esta variable se emplea en la posición del inventario.	
CP_i	Cumplimiento de pedidos: Tasa de entrada de los productos terminados hacia el inventario de cada centro de distribución, el mismo que tiene un tiempo fijo de suministro.	Items/day
LS_i	Línea de suministro: Cantidad de producto que se encuentran pendientes por ser entregados a los almacenes de distribución.	Items
P_i	Pedidos: Solicitud de producto que se realiza a fábrica a partir de la demanda esperada, el punto de reorden, la posición del inventario y el ajuste de posición del inventario.	Items/day
F_i	Fábrica: Fuente de producto terminado ilimitado que abastece a los centros de distribución.	Items
$PInv_i$	Posición del inventario: Consolidación del inventario de producto terminado y lo pendiente por entregarse a los centros de distribución.	Items
$APInv_i$	Ajuste de la posición del inventario: Diferencia entre la posición del inventario y el inventario deseado.	Items/day
DtT	Demanda total de transportes: Demanda generada a partir de los pedidos realizados dividido por la capacidad de los camiones.	Trucks
NCT	Necesidad de capacidad de transporte: Valor entero de camiones que se necesitan para realizar la distribución del producto final.	Trucks
ECT	Escasez de la capacidad de transporte: Diferencia entre la necesidad de los camiones con la capacidad actual de transportes.	Trucks
CST	Capacidad subcontratada de transporte: Cantidad de transportes subcontratados a causa de una escasez en la capacidad de transportes	Trucks
$ECTS$	Escasez de capacidad de transporte suavizada: Demora en el traspaso de información sobre la necesidad extra de transportes.	Trucks
CT	Capacidad de transportes: Cantidad de camiones disponibles para realizar la distribución del producto terminado.	Trucks
$TDCT$	Tasa de disposición de capacidad de transporte: Cantidad de camiones que dejan de ser parte de la capacidad de transporte debido a un excedente, esta tasa se ve influenciada por el ciclo de vida de la capacidad.	Trucks/day

Notación	Descripción	Unidades
<i>TACT</i>	Tasa de adquisición de capacidad de transporte: Valor generado a partir de la cantidad extra de transporte requerida, la cual tarda un tiempo para realizar la adquisición.	Trucks/day

En la Tabla 11 se enuncian los parámetros que el modelo utiliza como entrada, y una breve descripción de cada uno de ellos. De esta forma, se pretende que el lector tenga un mejor entendimiento del uso de esta notación en las siguientes páginas de este trabajo de fin de máster:

Tabla 11. Descripción de los parámetros empleados

Notación	Descripción	Unidades
<i>TR</i>	Tiempo de respuesta: Tiempo que tarda la distribución en satisfacer la demanda.	Day
<i>TS</i>	Tiempo de suministro: Tiempo que se tarda en cumplimentarse los pedidos.	Day
<i>PR</i>	Punto de reorden: Cantidad mínima de la posición del inventario a partir de la cual se realiza una solicitud al lugar de reabastecimiento.	Day
<i>TMP</i>	Tiempo de procesamiento de pedidos: Demora generada a partir del tratamiento y verificaciones de los datos de los pedidos.	Day
<i>PDInv</i>	Posición deseada de inventario: Cantidad de stock establecida a partir de la cual se la compara con la posición del inventario, para luego realizar un pedido de stock.	Day
<i>TAPInv</i>	Tiempo de ajuste de la posición del inventario: Tiempo que tarda el sistema en ajustar el inventario deseado.	Day
<i>TC</i>	Tamaño de camión: Capacidad de transporte de los camiones.	Trucks
<i>TAC</i>	Tiempo de adquisición de capacidad: Tiempo que tarda la compañía de transporte en adjudicar camiones adicionales a la capacidad establecida.	Trucks/day
<i>TDC</i>	Tiempo de disposición de capacidad: Tiempo que se debe mantener la capacidad de transportes antes de reducir el número de flota, este tiempo afecta directamente a la tasa de disposición de transportes.	Trucks/day

3.2.2 Diagrama de flujos

En esta sección se presenta el diagrama de flujo que se obtiene a partir del diagrama causal antes mostrado y empleado en el artículo de Georgiadis et al. (2005) y por (Sterman, 1989). En este nuevo diagrama se clasifican las variables antes mostradas entre variables de flujo, estado o auxiliares, teniendo cada una de estas algún tipo de formulación, valor inicial o valor constante, lo cual proporciona la relación que existe entre cada una de ellas.

3.2.2.1 Listado de variables consideradas

Como se ha mencionado anteriormente, el diagrama de flujo global de este proyecto está compuesto por cuatro subdiagramas, correspondientes a la red de distribución G, Q, P y M. Para poder tener un mejor entendimiento de los siguientes diagramas a mostrar hay que tener en cuenta que las variables de nivel o estado (enmarcadas dentro de un cuadrado) son, generalmente, las más importantes de un modelo y representan las magnitudes cuya evolución es, especialmente, significativa, por ejemplo, el inventario; por otro lado, las variables de flujo son las que se encuentran asociadas a alguna variable de estado y determinan su variación a lo largo del tiempo. Finalmente, las variables auxiliares son las demás variables que aparecen en el modelo, y representan pasos intermedios para el cálculo de las variables de flujo a partir de las variables de nivel, estas también pueden representar valores constantes, como, por ejemplo, la capacidad fija de producción, etc. (Aracil, 1995).

A continuación, la Figura 5, Figura 6, Figura 7 y Figura 8 muestran los diagramas de flujo de estos cuatro subsistemas. Adicionalmente, se detalla la formulación de cada una de las variables empleadas en estos diagramas.

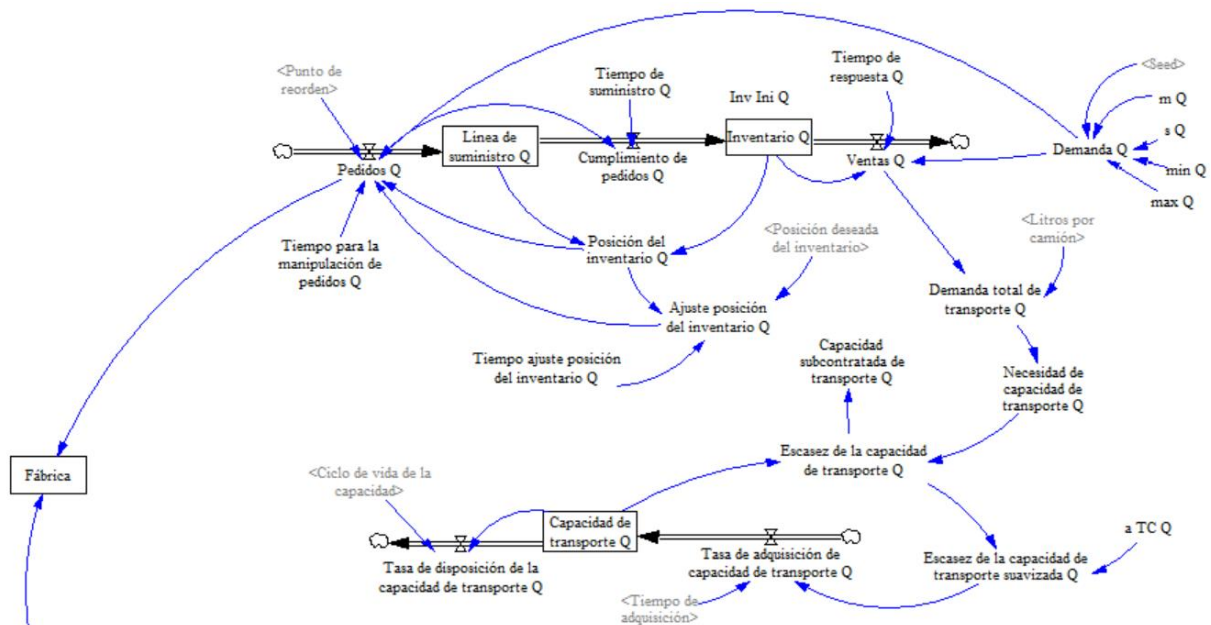


Figura 5. Red de distribución de la zona Q

Como se puede observar en la Figura 5, la red de distribución Q se abastece directamente de la fábrica, a través de pedidos realizados por el coordinador de dicho almacén y se transportan en un contenedor con una capacidad de 15000 litros. Este centro de distribución, únicamente, realiza entregas a su zona de despacho, este centro de distribución posee su propia capacidad de transportes, la misma que se gestiona individualmente.

La red de suministro G que se muestra en la Figura 6 también se abastece directamente de la fábrica, sin el uso de ningún medio de transporte puesto que las instalaciones son colindantes. La fábrica no tiene restricción de capacidad de suministro ya que posee un inventario ilimitado de productos, puesto que por motivos de estudio no genera ninguna restricción adicional. Esta red de distribución también gestiona su capacidad de transportes de manera individual para satisfacer los pedidos de productos de su zona de ventas. Cabe resaltar que a partir de este centro de distribución se abastece de producto terminado a los almacenes ubicados en las zonas de ventas M y P, una vez que el coordinador de cada una de las regionales realicen un pedido de abastecimiento. Cabe añadir que este producto se transporta en camiones con una capacidad de 6500 litros.

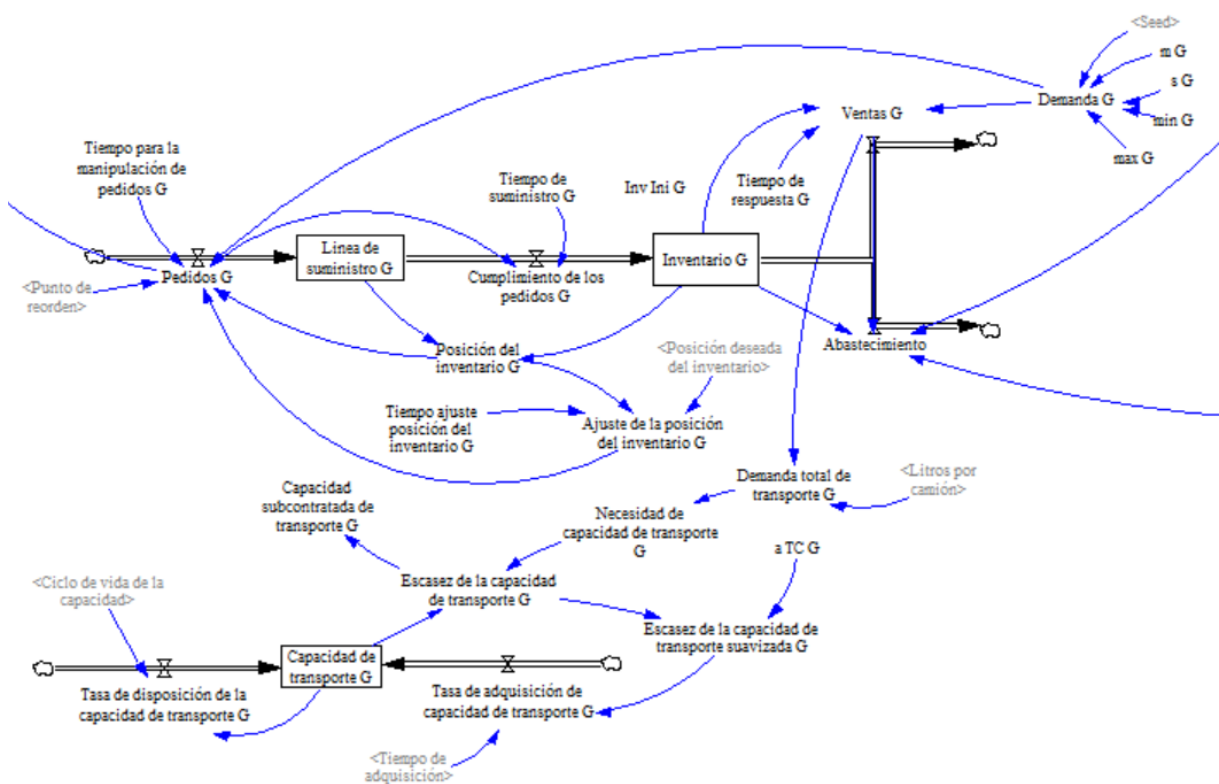


Figura 6. Red de distribución de la zona G

En la Figura 7 se puede observar el centro de distribución ubicado en la zona de ventas P, el cual se abastece de producto terminado proveniente del almacén G. Cabe indicar que en este caso también se gestiona la capacidad de transportes de manera aislada a los otros centros logísticos. Uno de los factores que se diferencian entre cada uno de los centros de distribución es la demanda que satisfacen, ya que

colocándolas por orden creciente las demandas van de la siguiente manera a partir de las zonas de ventas: M, P, Q y G.

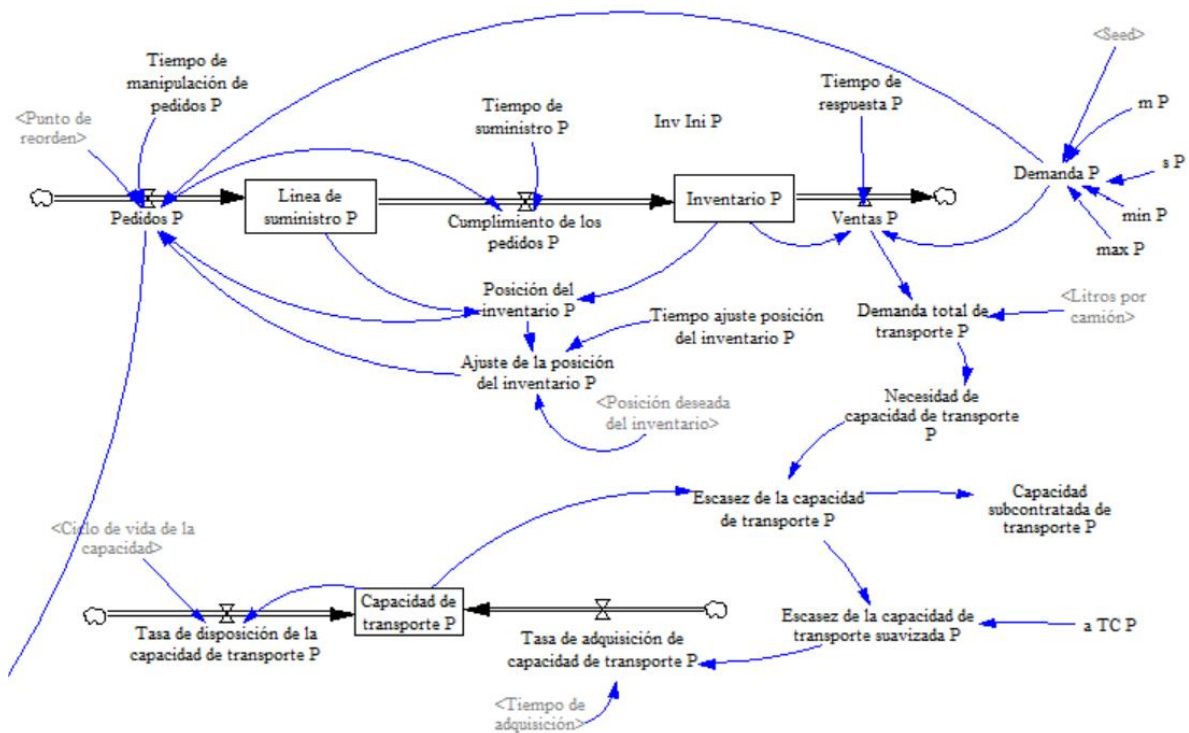


Figura 7. Red de distribución de la zona P

Finalmente, en la Figura 8 se puede visualizar la zona de ventas M en la cual se puede visualizar que esta se abastece directamente del almacén G. La demanda a la cual se satisface a partir de este centro de distribución es la menor de toda la red de suministro, por lo cual se espera que esta sea la que menor cantidad de recursos emplee. De la misma manera que los otros centros de distribución, este centro logístico gestiona de manera independiente su capacidad de transportes.

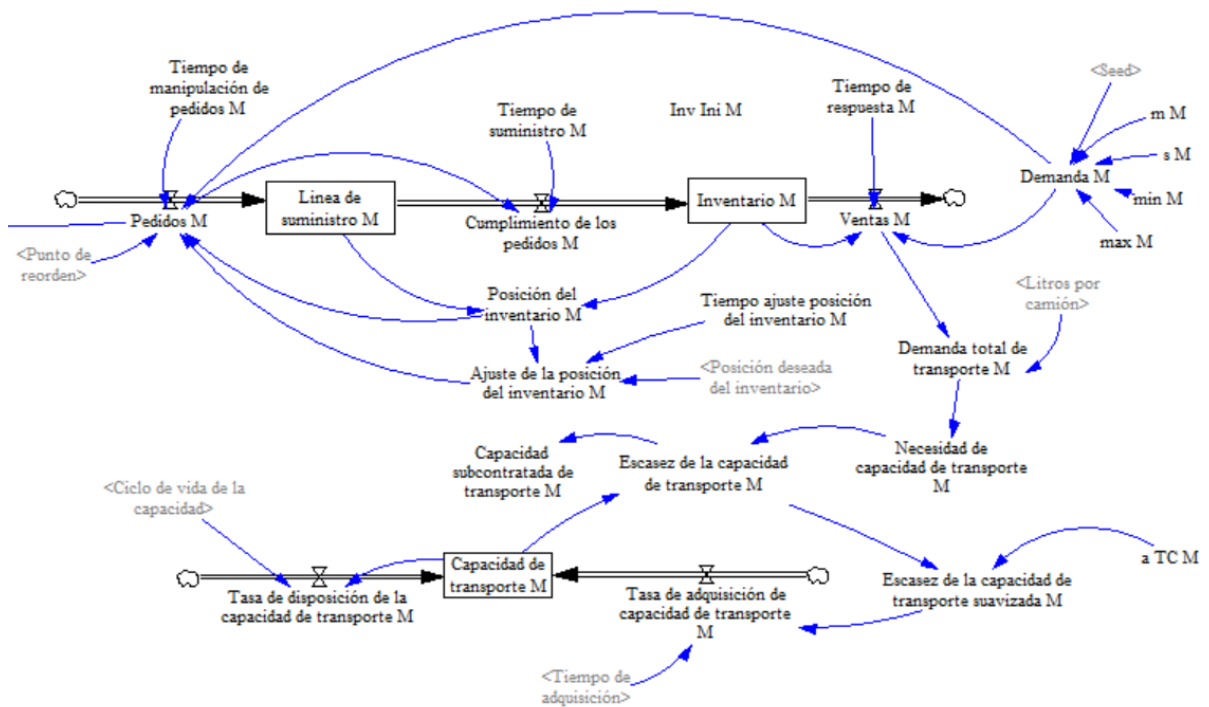


Figura 8. Red de distribución de la zona M

El modelo consolidado se puede visualizar en la Figura 12 de la sección Anexos, en donde se identifican las conexiones que existen entre la fábrica y los centros de distribución Q y G; y, de la misma manera, se puede visualizar la relación que existe entre los almacenes G, P y M.

Para tener un mejor entendimiento de la estructura del diagrama de flujo consolidado, se puede indicar que la red de distribución Q se encuentra en el cuadrante superior izquierdo, la zona G se encuentra en el sector inferior izquierdo, el diagrama que representa la distribución de P está en el cuadrante superior derecho y, por último, la zona M está ubicada en la parte inferior derecha del diagrama de flujo.

A partir de la Figura 12 se puede visualizar, de manera global, que las variables de estado que se consideran para este modelo de flujo para cada uno de los centros de distribución son las siguientes:

Tabla 12. Variables de estado empleadas

Notación	Descripción	Unidades
F_i	Fábrica: Fuente de producto terminado ilimitado que abastece a los centros de distribución.	Items
LS_i	Línea de suministro: Cantidad de producto que se encuentran pendientes por ser entregados a los almacenes de distribución.	Items
Inv_i	Inventario: Nivel de inventario de producto terminado de cada centro de distribución, el cual disminuye a partir de las ventas y aumenta con	Items

Notación	Descripción	Unidades
	los pedidos completados, la información del estado de esta variable se emplea en la posición del inventario.	
<i>CT</i>	Capacidad de transportes: Cantidad de camiones disponibles para realizar la distribución del producto terminado.	Trucks

De la misma forma, se pueden visualizar las variables de flujo que alteran estas variables de nivel (ver Tabla 13), las cuales son:

Tabla 13. Variables de flujo empleadas

Notación	Descripción	Unidades
<i>P_i</i>	Pedidos: Solicitud de producto que se realiza a fábrica a partir de la demanda esperada, el punto de reorden, la posición del inventario y el ajuste de posición del inventario.	Items/day
<i>CP_i</i>	Cumplimiento de pedidos: Tasa de entrada de los productos terminados hacia el inventario de cada centro de distribución, el mismo que tiene un tiempo fijo de suministro.	Items/day
<i>V_i</i>	Ventas: Satisfacción de la demanda la cual está restringida por el nivel de inventario de producto terminado.	Items/day
<i>Abst_i</i>	Abastecimiento: Requerimiento de producto terminado por parte de los centros de distribución que no tienen abastecimiento directo de planta.	Items/day
<i>TDCT</i>	Tasa de disposición de capacidad de transporte: Cantidad de camiones que dejan de ser parte de la capacidad de transporte debido a un excedente, esta tasa se ve influenciada por el ciclo de vida de la capacidad.	Trucks/day
<i>TACT</i>	Tasa de adquisición de capacidad de transporte: Valor generado a partir de la cantidad extra de transporte requerida, la cual tarda un tiempo para realizar la adquisición.	Trucks/day

Las variables auxiliares como se ha mencionado, anteriormente, se emplean como cálculos intermedios o parámetros de entrada para el modelo, las mismas que se muestran a continuación:

Tabla 14. Variables auxiliares empleadas

Notación	Descripción	Unidades
D_i	Demanda: Demanda del producto final generada por el mercado proporcionada por la empresa, esta no es acumulable, es decir, la demanda que no se satisface en un periodo se pierde.	Items/day
De_i	Demanda esperada: Distorsión de la demanda en el tiempo, debido al flujo de información se demora un tiempo determinado para que llegue al ente generador de pedidos de reabastecimiento del producto final.	Items/day
$PInv_i$	Posición del inventario: Consolidación del inventario de producto terminado y lo pendiente por entregarse a los centros de distribución.	Items
$APInv_i$	Ajuste de la posición del inventario: Diferencia entre la posición del inventario y el inventario deseado.	Items/day
DtT	Demanda total de transportes: Demanda generada a partir de los pedidos realizados dividido por la capacidad de los camiones.	Trucks
NCT	Necesidad de capacidad de transporte: Valor entero de camiones que se necesitan para realizar la distribución del producto final.	Trucks
ECT	Escasez de la capacidad de transporte: Diferencia entre la necesidad de los camiones con la capacidad actual de transportes.	Trucks
CST	Capacidad subcontratada de transporte: Cantidad de transportes subcontratados a causa de una escasez en la capacidad de transportes	Trucks
$ECTS$	Escasez de capacidad de transporte suavizada: Demora en el traspaso de información sobre la necesidad extra de transportes.	Trucks
TR	Tiempo de respuesta: Tiempo que tarda la distribución en satisfacer la demanda.	Day
TS	Tiempo de suministro: Tiempo que se tarda en cumplimentarse los pedidos.	Day
PR	Punto de reorden: Cantidad mínima de la posición del inventario a partir de la cual se realiza una solicitud al lugar de reabastecimiento.	Day
TMP	Tiempo de procesamiento de pedidos: Demora generada a partir del tratamiento y verificaciones de los datos de los pedidos.	Day
$PDInv$	Posición deseada de inventario: Cantidad de stock establecida a partir de la cual se la compara con la	Day

Notación	Descripción	Unidades
	posición del inventario, para luego realizar un pedido de stock.	
<i>TAPInv</i>	Tiempo de ajuste de la posición del inventario: Tiempo que tarda el sistema en ajustar el inventario deseado.	Day
<i>TC</i>	Tamaño de camión: Capacidad de transporte de los camiones.	Trucks
<i>TAC</i>	Tiempo de adquisición de capacidad: Tiempo que tarda la compañía de transporte en adjudicar camiones adicionales a la capacidad establecida.	Trucks/day
<i>TDC</i>	Tiempo de disposición de capacidad: Tiempo que se debe mantener la capacidad de transportes antes de reducir el número de flota, este tiempo afecta directamente a la tasa de disposición de transportes.	Trucks/day

3.2.2.2 Descripción de las ecuaciones incluidas

A continuación, se describirán las ecuaciones de las variables más relevantes empleadas en el programa de simulación Vensim®. Cabe tener consideración que se describirán cada una de ellas de manera genérica, por ejemplo, para describir la demanda, inventario, etc. se hará una sola vez puesto que la formulación es la misma para cada red de distribución, ya sea G, Q, P o M.

Demanda: representa la demanda del producto final generada a partir de una distribución aleatoria normal, con sus valores mínimo, máximo, promedio, desviación y una semilla. Esta última varía cada 365 días puesto que servirá para evaluar el modelo para diferentes números aleatorios.

$$D_i(t) = INT[RANDOM\ NORMAL(min, max, mean, stdev, seed)] \quad (1)$$

Demanda esperada: esta demanda que es empleada por la variable de pedidos para realizar la solicitud de producto a planta viene dada por la siguiente ecuación:

$$De_i(t) = D_i(t - a) \quad (2)$$

Ventas: viene dada por el valor mínimo entre el inventario que se encuentra en el almacén dividido para el tiempo de respuesta que éste puede dar, o el valor de la demanda.

$$V_i(t) = \min\left(\frac{Inv_i(t)}{TR}, D_i(t)\right) \quad (3)$$

Abastecimiento: cantidad de producto terminado solicitado por los centros de distribución que no reciben directamente desde la planta (M y P).

$$Abst_i(t) = \sum P_i(t) \quad (4)$$

Inventario: es la diferencia entre los elementos de salida dado por el cumplimiento de los pedidos y las salidas dado por las ventas que se producen en un periodo determinado.

$$Inv_i(t) = CP_i(t) - V_i(t) \quad (5)$$

Cumplimiento de pedidos: tasa de entrada de los productos terminados hacia el inventario de cada centro de distribución, el mismo que tiene un tiempo fijo de suministro.

$$CP_i(t) = P_i(t - TS) \quad (6)$$

Línea de suministro: diferencia entre la cantidad de producto que se encuentra por ser entregado de los pedidos y la cantidad entregada al inventario.

$$LS_i(t) = P_i(t) - CP_i(t) \quad (7)$$

Pedidos: cantidad de producto solicitada a la fábrica a partir de la demanda esperada y la cantidad por ajustar de la posición del inventario, para esto hay que tener en cuenta el punto de reorden de cada centro de distribución, la posición del inventario y la cantidad deseada del inventario.

$$P_i(t) = \begin{cases} De_i + APInv_i, & Si P_{inv_i}(t) < PR \\ 0, & Caso contrario \end{cases} \quad (8)$$

Posición del inventario: consolidación del inventario de producto terminado y lo pendiente por entregarse a los centros de distribución.

$$PInv_i(t) = Inv_i(t) + LS_i(t) \quad (9)$$

Ajuste posición del inventario: se selecciona la cantidad máxima entre la diferencia entre la posición deseada del inventario y la posición del inventario de cada centro de distribución y cero, esto dividido para el tiempo de ajusta de la posición del inventario.

$$APInv_i(t) = \left[\frac{\max(PDInv_i - PInv_i(t), 0)}{TAPInv} \right] \quad (10)$$

Demanda total del transporte: demanda generada a partir de los pedidos realizados dividido por la capacidad de los camiones.

$$DtT(t) = \frac{\sum_{i=1}^6 P_i(t)}{TC} \quad (11)$$

Escasez de la capacidad de transporte: se selecciona la cantidad máxima entre la diferencia entre la necesidad de la capacidad de transporte y la capacidad instalada, y el valor de cero.

$$ECT(t) = \max[NCT(t) - CT(t)] \quad (12)$$

Tasa de adquisición de capacidad de transporte: valor generado a partir de la cantidad extra de transporte requerida, la cual tarda un tiempo para poder realizar la adquisición.

$$TACT(t) = ECTS(t - TA) \quad (13)$$

Capacidad de transporte: cantidad de camiones disponibles para realizar la distribución del producto terminado, calculado a partir de la diferencia entre la tasa de adquisición de transporte y la tasa de disposición de la capacidad de transporte.

$$CT(t) = INT(TACT(t) - TDCT(t)) \quad (14)$$

Tasa de disposición de la capacidad de transporte: cantidad de camiones que dejan de ser parte de la capacidad de transporte debido a un excedente, esta tasa se ve influenciada por el ciclo de vida de la capacidad.

$$TDCT(t) = \frac{CT(t)}{CVC} \quad (15)$$

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4 Evaluación de los resultados de la simulación

4.1 Simulación de escenarios planteados

En la presente sección se realizarán las simulaciones del modelo planteado a partir de la situación actual y la modificación de los parámetros: tiempo de disposición de capacidad de transporte, tiempo de adquisición de capacidad de transportes, punto de reorden y posición deseada del inventario, y se presentará los resultados de cada uno de ellos.

Cabe tener en consideración que para realizar un mejor análisis de resultados, se realizaron 20 iteraciones con diferentes números aleatorios los cuales provienen de la semilla colocada en el programa Vensim®. De esta forma, no se condiciona al sistema a ejecutarse con un mismo grupo de números aleatorios, y así se evita cualquier sesgo que podrían tener los resultados.

Para iniciar se procedió con la simulación del modelo que representa la situación actual, para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados con respecto a las roturas de stock (*stockout*) (Tabla 15) y los costes de transporte (Tabla 16). Con esta información resultante se realizará la comparativa con la proveniente de los resultados de los escenarios anteriormente planteados.

Cabe resaltar que para lograr una mejor visualización de los resultados, los datos de las familias de productos se han consolidado y se han realizado los cálculos de manera agregada.

Tabla 15. Resultados de las roturas de stock de la situación actual

	Tiempo de disposición	Tiempo de adquisición	Punto de reorden	Posición deseada del inventario	StockOut G	StockOut Q	StockOut P	StockOut M	Total StockOut
Estado actual	20	5	5	10	741285	32519	742	903	775448

Tabla 16. Resultados de los costes de transporte de la situación actual

	Tiempo de disposición	Tiempo de adquisición	Punto de reorden	Posición deseada del inventario	Costo Transporte G	Costo Transporte Q	Costo Transporte P	Costo Transporte M	Total Costo transporte
Estado actual	20	5	5	10	\$1,886,441.20	\$1,846,187.10	\$978,195.40	\$559,098.40	\$5,269,922.10

La forma de cálculo del *stockout* o roturas de stock para cada uno de los centros de distribución se basa en la diferencia entre la demanda y las ventas realizadas en cada uno de ellos. Por otro lado, para el cálculo de los costes de transporte se tiene en cuenta el coste del alquiler de la flota y la cantidad de camiones alquilados y, también, los camiones que son subcontratados por el día para satisfacer todos los suministros de la preventa.

A partir de la simulación de los escenarios anteriormente establecidos y las diferentes iteraciones, se procedió a utilizar el promedio de los resultados de los costes de transporte y de roturas de stock para cada uno de los centros de distribución y, seguidamente, para comparar los escenarios, únicamente, se toma en cuenta la sumatoria de estos factores analizados.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las roturas de stock para cada uno de los escenarios (Tabla 17).

Tabla 17. Resultados de los quiebres de stock por escenario

	Tiempo de disposición	Tiempo de adquisición	Punto de reorden	Posición deseada del inventario	StockOut G	StockOut Q	StockOut P	StockOut M	Total StockOut
R_Es1	30	7	7	7	329041	0	0	0	329041
R_Es2	20	5	7	7	329041	0	0	0	329041
R_Es3	10	3	7	7	329041	0	0	0	329041
R_Es4	5	1	7	7	329041	0	0	0	329041
R_Es5	30	7	5	10	741285	32519	742	903	775448
R_Es6	30	7	3	13	989635	107819	54402	48271	1200126
R_Es7	30	7	1	16	913853	145148	96432	78235	1233667

Como se puede visualizar en la Tabla 17 el mejor resultado respecto a la cantidad de producto con rotura de stock es la configuración de punto de reorden y posición deseada del inventario con 7 días de stock, ya que como se puede observar la gestión del transporte no influye en la gestión de stock.

A partir de estos resultados, se procede ahora a evaluar los costes de transporte tal como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Resultados de los costes de transporte por escenario

	Tiempo de disposición	Tiempo de adquisición	Punto de reorden	Posición deseada del inventario	Coste Transporte G	Coste Transporte Q	Coste Transporte P	Coste Transporte M	Total Coste transporte
Escenario 1	30	7	7	7	\$1,811,376.20	\$1,837,655.80	\$978,124.80	\$559,038.70	\$5,186,195.50
Escenario 2	20	5	7	7	\$1,812,060.40	\$1,837,655.80	\$978,054.20	\$559,002.80	\$5,186,773.20
Escenario 3	10	3	7	7	\$1,865,795.90	\$1,839,312.30	\$978,054.20	\$559,002.80	\$5,242,165.20
Escenario 4	5	1	7	7	\$1,943,523.10	\$1,900,038.10	\$978,324.90	\$558,990.90	\$5,380,877.00
Escenario 5	30	7	5	10	\$1,844,220.50	\$1,838,240.50	\$978,195.40	\$559,098.40	\$5,219,754.80
Escenario 6	30	7	3	13	\$1,884,613.00	\$1,853,007.80	\$978,383.70	\$559,217.90	\$5,275,222.40
Escenario 7	30	7	1	16	\$1,900,030.10	\$1,895,480.20	\$978,560.30	\$559,337.40	\$5,333,408.00

Se puede observar en la Tabla 18 que el menor coste viene dado por el primer escenario, en el cual el ciclo de vida de la capacidad de transportes es de 30 días y el tiempo de adquisición de transportes es de 7 días, ya que este muestra el menor de los costes asociados al alquiler mensual y la subcontratación diaria de capacidad adicional.

Una vez obtenidos estos resultados, se puede asegurar que la mejor opción con respecto a los parámetros simulados es la que se presenta en el primer escenario, ya que esta aporta una menor cantidad de producto con rotura de stock y un menor coste asociado a la gestión de la planificación de la capacidad de transporte.

A pesar que los resultados obtenidos en el escenario 1 con respecto al porcentaje de coste total de transporte es muy parecido al presentado en el escenario 2, conviene tener unos tiempos de adquisición y disposición de la capacidad de transporte más elevado, debido a que de este modo se permite a la compañía de transportes tener una mayor estabilidad en su flota de camiones. Debido a que la volatilidad que se podría incrementar en la gestión de transportes del proveedor de pasar de 30 días a 20 días en cuestión de disposición de la flota, podrían incrementar sus costes fijos generando en futuras negociaciones un posible incremento de los mismos.

Además de los resultados obtenidos a partir de la simulación de los diferentes escenarios, el modelo elaborado también permite conocer el comportamiento de las variables de una manera gráfica. A continuación, se presenta la Figura 9, en donde se muestra la variación del inventario en el centro de distribución G empleando los parámetros del primer escenario.

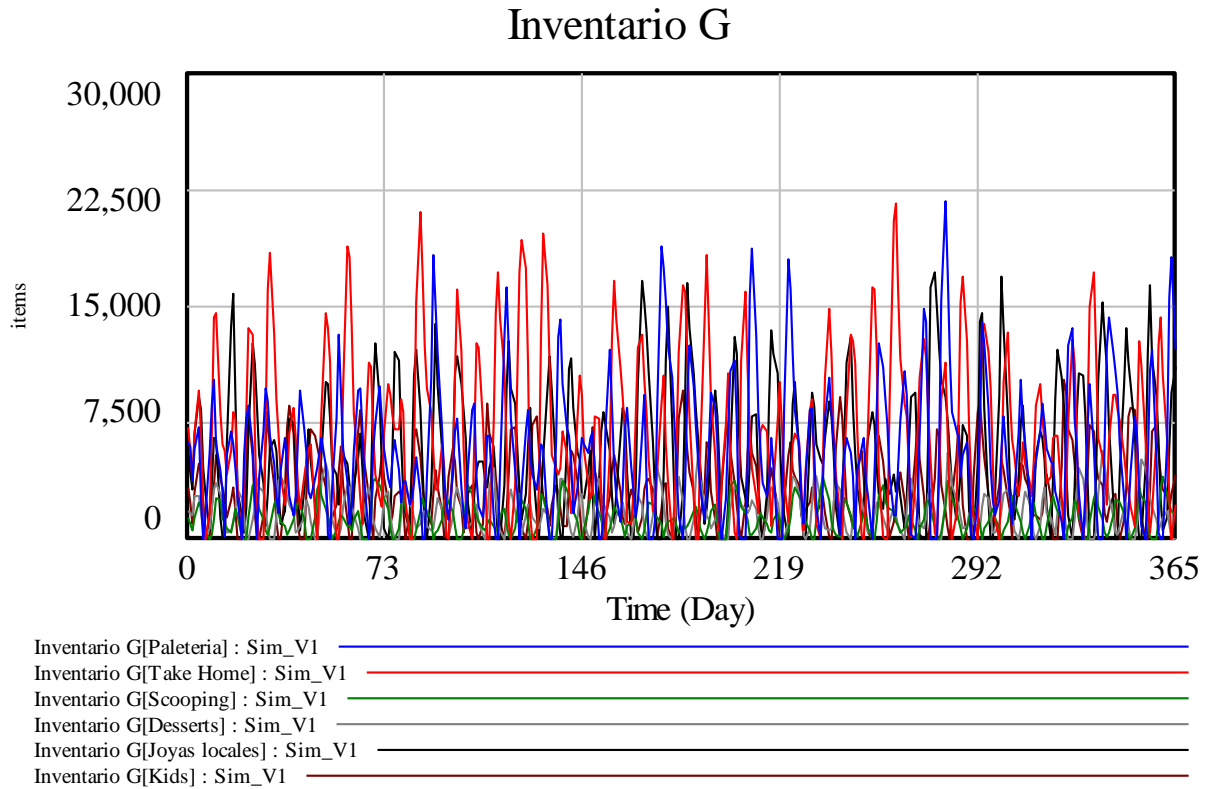
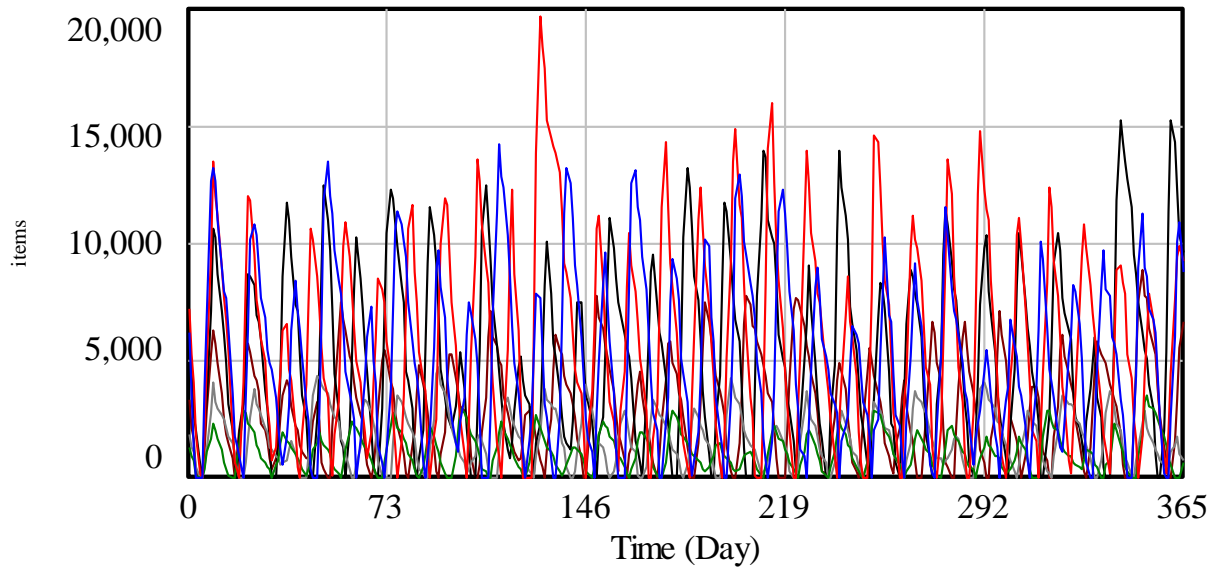


Figura 9. Variación del inventario en el centro de distribución G

Como se puede observar, los mayores picos de inventario tanto ascendentes como descendentes se hacen presentes en la familia de productos de Paeteria y Take Home. Esto se debe a que poseen una media de demanda mucho más alta que las demás y su fluctuación es también mucho mayor. Además, se puede notar que en muchas ocasiones el inventario de todas las familias de productos llega a cero. Esto se debe a que este centro de distribución no debe satisfacer, únicamente, las necesidades de su mercado colindante, sino que también debe aprovisionar a los centros de distribución M y P.

Del mismo modo, se muestran las Figuras 10, 11, 12, en donde se presenta la variación del inventario de las familias de productos en cada uno de los centros de distribución (Q, P y M).

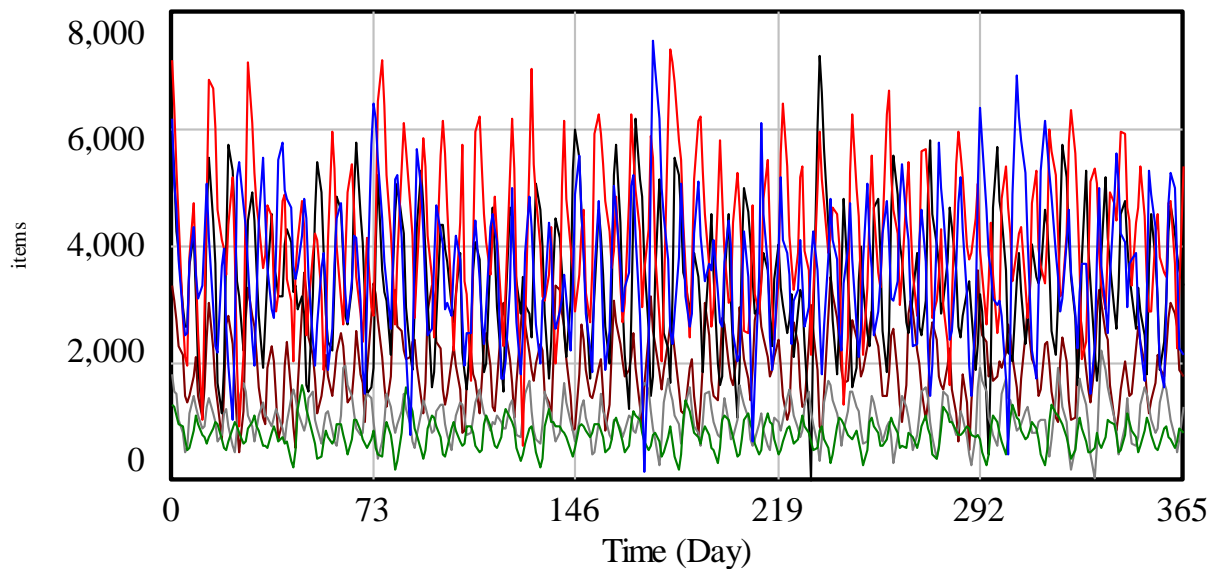
Inventario Q



Inventario Q[Paeteria] : Sim_V1
Inventario Q[Take Home] : Sim_V1
Inventario Q[Scooping] : Sim_V1
Inventario Q[Desserts] : Sim_V1
Inventario Q[Joyas locales] : Sim_V1
Inventario Q[Kids] : Sim_V1

Figura 10. Variación del inventario en el centro de distribución Q

Inventario P



Inventario P[Paeteria] : Sim_V1
Inventario P[Take Home] : Sim_V1
Inventario P[Scooping] : Sim_V1
Inventario P[Desserts] : Sim_V1
Inventario P[Joyas locales] : Sim_V1
Inventario P[Kids] : Sim_V1

Figura 11. Variación del inventario en el centro de distribución P

Inventario M

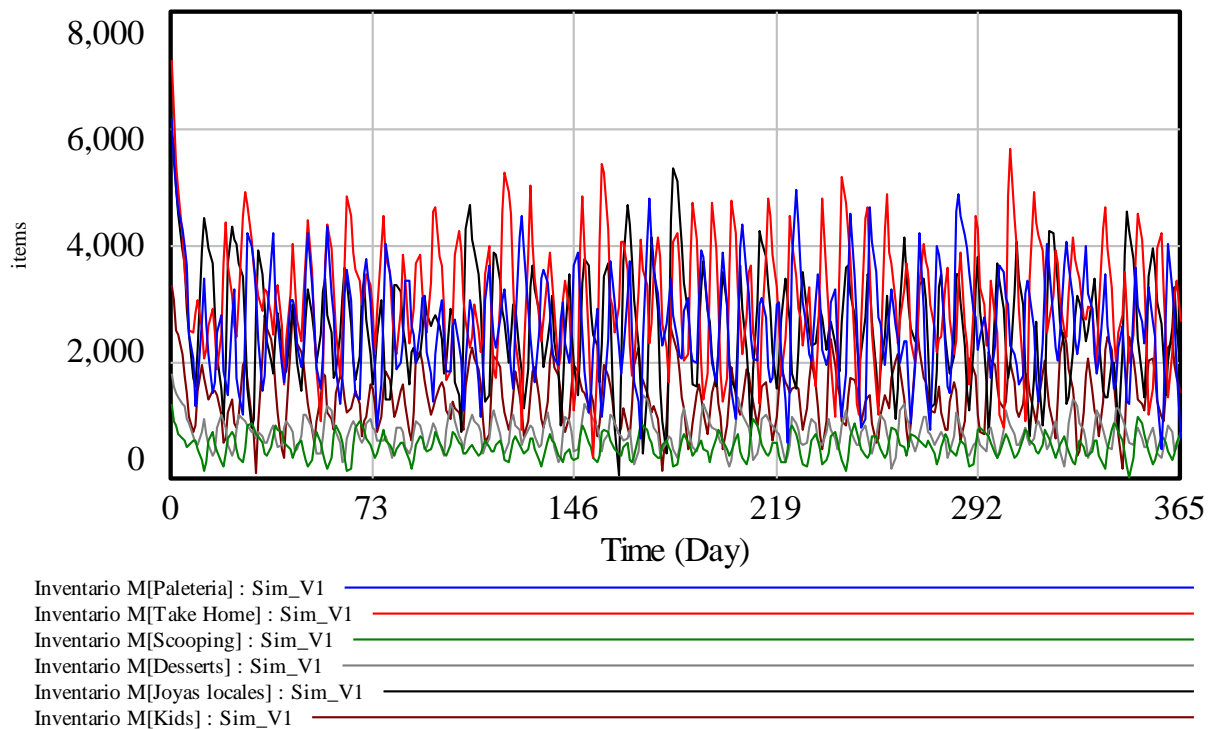


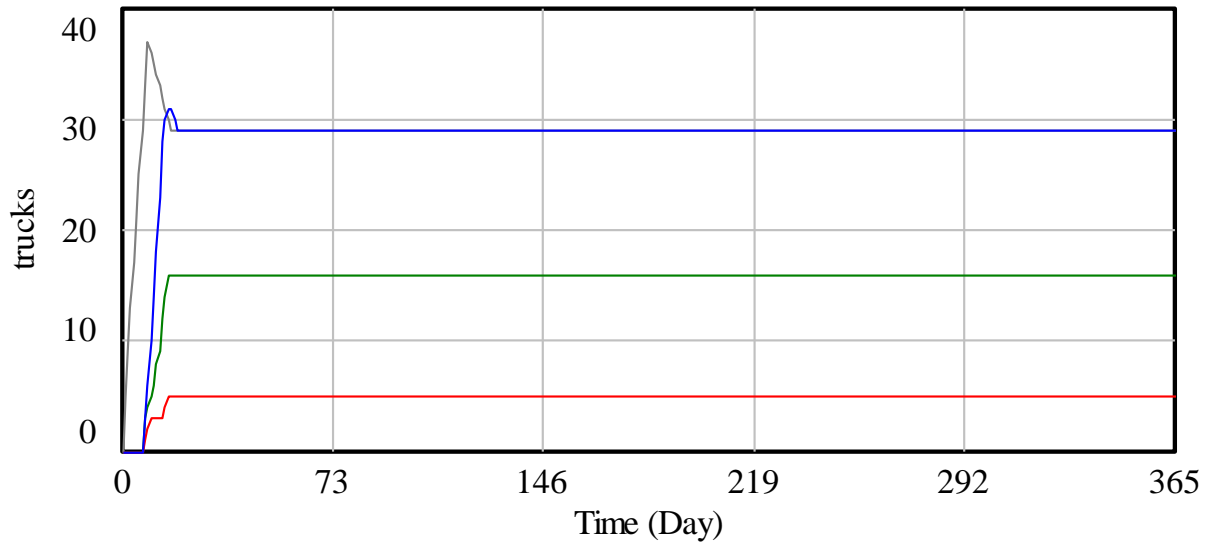
Figura 12. Variación del inventario en el centro de distribución M

Por otro lado, se puede visualizar que los inventarios en M, P y Q difícilmente alcanzan el valor de cero, esto se podría deber a que las políticas de inventario que utilizan estos almacenes son idóneas para el entorno en donde se encuentran. Sin embargo, para el caso del almacén Q cabe recalcar que si bien su inventario nunca llega a cero, este almacén tiene picos muy elevados, casi llegando a los niveles del centro logístico G. A partir de esto, se analiza que las políticas de inventario, con mayor énfasis en el punto de reorden y la posición deseada del inventario, deberían ser revisadas por separado, es decir, que cada centro de distribución debería calcular y establecer los niveles de stock deseados y la cantidad a requerir para poder satisfacer su demanda.

En la Figura 13 se visualiza el comportamiento de la variable capacidad de transporte para los cuatro centros de distribución generada con los datos del escenario 1 en un horizonte de 365 días. Como se puede observar, debido a que todos los centros de distribución inician con una capacidad de cero transportes, el sistema tiene una gran perturbación al iniciar el proceso, lo que lleva a un gran incremento de la capacidad de transportes, la misma que, aproximadamente, después de 30 días, que es el ciclo de vida de la capacidad de transportes, comienza a descender y a ajustarse a la verdadera capacidad de transporte necesitada.

También, se puede observar que la capacidad de transporte en el centro de distribución M es la menor, esto es debido a la menor cantidad de producto demandado, siguiendo con el almacén P. Posteriormente, estarían los centros logísticos G y Q, los mismos que después de un periodo mantienen una misma flota de transportes.

Selected Variables



- Capacidad de transporte G : Sim_V1 —————
- Capacidad de transporte M : Sim_V1 —————
- Capacidad de transporte P : Sim_V1 —————
- Capacidad de transporte Q : Sim_V1 —————

Figura 13. Variación de la capacidad de transporte en los centros de distribución

A partir del uso de la herramienta Causes Strips del programa de simulación Vensim® se pueden visualizar las fuentes de oscilación de la variable ventas en el centro de distribución G y la familia de producto Paletería. Se revisa esta variable ya que es una de las más conflictivas del modelo al presentar una mayor presencia de roturas de stock y, por ende, un mayor efecto en los resultados del modelo. Se puede asegurar, a partir de la Figura 14, que las tres variables de entrada afectan directamente a las ventas, solo que el inventario, únicamente, se hace presente cuando aparecen los picos descendentes, mientras que en mayor parte el abastecimiento en comparación con las ventas se hacen presentes en los picos ascendentes. Para las demás gráficas de relación entre variables se tienen comportamientos semejantes, además de ser menos complejas, por tal motivo, únicamente, se realizó el análisis de esta.

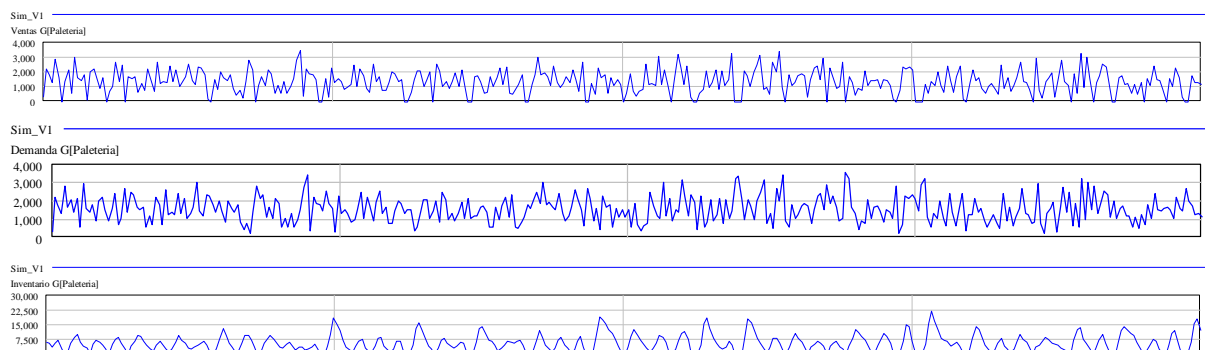


Figura 14. Relación entre las variables demanda, pedidos agregados e inventario en las ventas

4.2 Análisis de sensibilidad

Con la información obtenida a partir de la simulación de los distintos escenarios, se puede observar que los resultados derivados por el modelo simulado en Vensim® son robustos ya que a medida que los parámetros van cambiando siguiendo la misma tendencia, los resultados también lo van haciendo y no se generan resultados abruptos a partir de algún cambio en los datos de entrada.

A pesar de lo enunciado anteriormente, se realiza el proceso de alterar los valores de ciertos parámetros del modelo, con el fin de poder examinar los resultados obtenidos después de haber realizado dichos cambios. Este análisis, en el caso que se realice de manera manual, requiere una simulación a partir de cada cambio que se realice a las constantes evaluadas. Mientras que empleando la simulación de Montecarlo del programa Vensim®, también denominada como simulación de sensibilidad multivariable, se puede realizar este proceso de manera automática.

El método de simulación de sensibilidad multivariable permite evaluar un conjunto de números dentro de un rango determinado. Para esto, se realiza un muestreo empleando la distribución de probabilidad para cada una de las constantes especificadas, y los valores obtenidos se emplean en cada una de las simulaciones establecidas.

Para el presente modelo se realizan 300 simulaciones adicionales a la predefinida, cambiando automáticamente los parámetros: ciclo de vida de la capacidad, posición deseada del inventario, punto de reorden y tiempo de adquisición. Dentro de estas simulaciones se mantiene la simulación estándar para todas las variables con los valores de los parámetros iniciales del modelo, para que así se refleje también esta alternativa. Se eligen estos parámetros a analizar, debido a que son los que varían en la simulación de los distintos escenarios y, también, porque son estos los que se pueden alterar según lo que indican en la empresa, ya que las capacidades de los camiones, tiempos de procesamiento de pedidos, y demás constantes son datos que difícilmente se podrían modificar.

Además, cabe señalar que para realizar el análisis de sensibilidad es mandatorio establecer la distribución de probabilidad para cada uno de los parámetros. En este caso, se elige la distribución más simple, la distribución uniforme aleatoria, debido a que permite que todas las alternativas entre los valores mínimo y máximo tengan la misma probabilidad de ocurrencia, y también a que es la que mayor aplicabilidad tiene en la mayor parte de los ámbitos.

Para cada una de estas constantes, se establecieron valores mínimos y máximos con los que se lleva a cabo el análisis, debido a que así se limitan los rangos de cada uno de ellos. Estos son: para el ciclo de vida de la capacidad [5 - 30], para la posición deseada del inventario [7 - 16], para el punto de reorden [1 - 7] y, finalmente, para el tiempo de adquisición [1 - 7]. Estos valores mínimos y máximos se definen a partir de los rangos que poseen los escenarios antes planteados.

Seguidamente, se definen las variables que se desean analizar: la capacidad de transporte G, el inventario consolidado de las familias de producto en el centro de distribución G y las ventas consolidadas realizadas en el centro de distribución G. El motivo por el cual se opta por el análisis de la zona de ventas G, es debido a que posee la mayor cantidad de demanda, y es la que tiene una mayor importancia para la organización.

Los gráficos de sensibilidad permiten observar los límites de confianza para todos los valores de cada una de las variables analizadas, los mismos que son generados a partir de la variación de las constantes antes nombradas alrededor de la distribución probabilidad aleatoria normal.

Al observar el gráfico se puede notar que los límites que se encuentran al exterior de la incertidumbre, es decir, los que marcan 100%, muestran los valores máximos de cada una de las variables analizadas.

Para el caso de la simulación original, es decir, la simulación que emplea los datos originales del modelo, se muestra como una línea azul delgada en el gráfico. De tal forma, que se puede notar en qué región de probabilidad se encuentra.

En la Figura 15 se puede observar la influencia de los parámetros ciclo de vida de la capacidad, posición deseada del inventario, punto de reorden y tiempo de adquisición sobre la variable de capacidad de transporte para el centro de distribución G. En esta se puede observar que el modelo es estable, además también se puede conocer los valores mínimos y máximos de esta variable para cada grado de probabilidad.

Se puede notar que en la Figura 15 la línea azul que representa los resultados de la simulación con los valores originales introducidos se encuentra, principalmente, en el límite superior de la zona gris, lo que indica que la probabilidad de ocurrencia de estos resultados es del 100%.

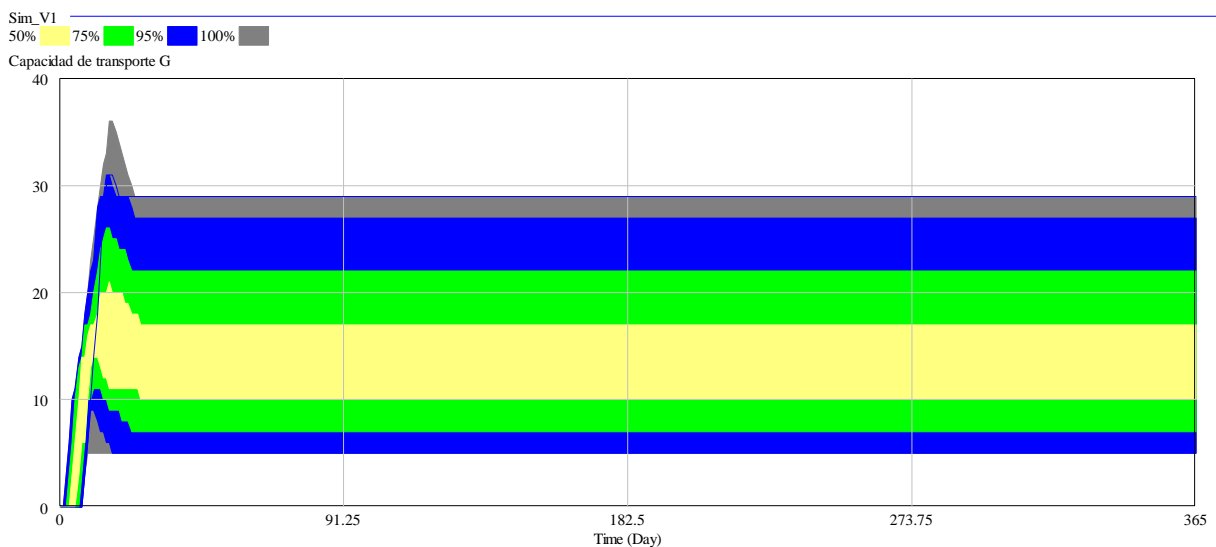


Figura 15. Gráfico de sensibilidad de la variable Capacidad de transporte

En la Figura 16 se puede observar los efectos de variación de la variable del inventario total en el centro de distribución G, a partir de los cambios realizados de los parámetros de entrada antes mencionados. En comparación con el gráfico anterior, en este caso se puede notar que la línea azul, que representa la simulación original, se encuentra en el mayor de los casos sobre la zona azul, la misma que indica un 95% de probabilidad de ocurrencia.

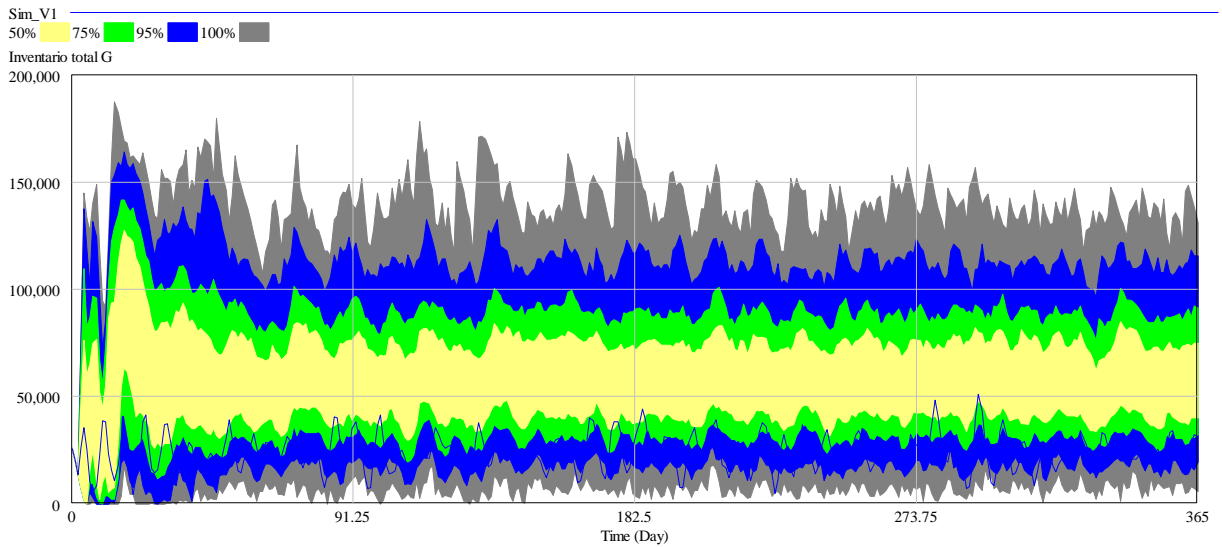


Figura 16. Gráfico de sensibilidad de la variable Inventario total

Por otro lado, en la Figura 17 se puede observar que la línea que representa la simulación original, se encuentra situada mayoritariamente sobre la zona amarilla, la misma que indica un 50% de probabilidad, y las demás zonas de resultados de la variable ventas se encuentran por debajo de esta.

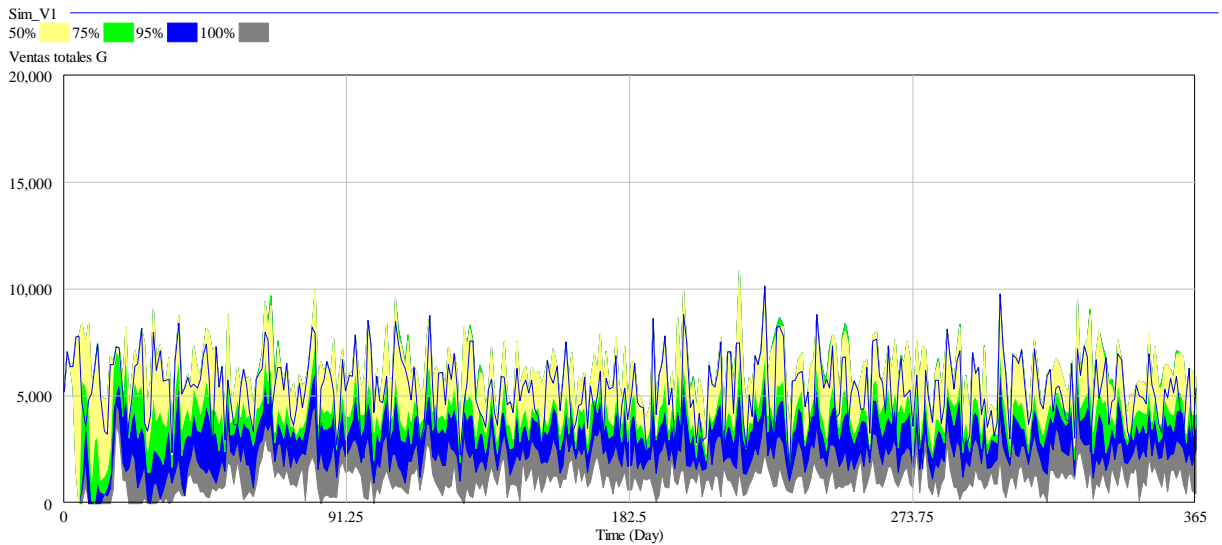


Figura 17. Gráfico de sensibilidad de la variable Ventas totales

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

5 Conclusiones

En el presente trabajo se ha planteado un modelo de simulación el cual ha representado una red de distribución de productos congelados a nivel nacional. El diseño del diagrama causal ha permitido al lector comprender el funcionamiento del sistema con el fin de facilitar la toma de decisiones.

Una vez desarrollado el diagrama causal, se ha elaborado el diagrama de flujo empleando la herramienta de simulación Vensim®, usando un conjunto de ecuaciones, datos de entrada y relaciones entre variables. Se han logrado simular varios escenarios con los cuales se ha analizado la gestión de inventario y la gestión de la capacidad de transportes, de tal forma, que ha permitido determinar la mejor configuración de parámetros para obtener el mejor nivel de servicios, en términos de menores roturas de stock, y menores costes asociados a los transportes.

En conclusión, la mejor alternativa ha sido el escenario 1 en donde el ciclo de vida de la capacidad de transportes ha resultado de 30, el tiempo de adquisición de capacidad adicional de transportes ha sido de 7 días, el punto de reorden ha venido dado por 7 días de stock y la cantidad de stock deseado en inventario ha sido de 7 días. Se ha escogido esta opción debido a que ha presentado los mejores resultados en cuestión de costes y niveles de inventario, y demás beneficios enunciados en la sección análisis de resultados.

A partir del desarrollo de este proyecto se han identificado diferentes líneas futuras de investigación en donde se podrían optimizar los parámetros empleados para la política de abastecimiento, como el punto de reorden y la cantidad de inventario deseado.

Del mismo modo, se podría introducir una mayor complejidad, dándole un enfoque más realista al modelo al restringir la capacidad de almacenamiento de los centros de distribución, lo cual podría ser un factor limitativo para realizar los pedidos de reabastecimiento. A pesar que en el presente trabajo se observó que la cantidad en inventario nunca sobrepasó los límites de capacidad de almacenamiento que, actualmente, cuentan las bodegas, aun así se podría evaluar cuál es la capacidad real requerida de almacenamiento que permita mantener los costes logísticos y al mismo tiempo el nivel de servicio.

Por último, se podría trabajar con una demanda más cercana a la realidad, dándole un efecto de avance porcentual de ventas como, por ejemplo: 10% la primera semana, 20% la segunda semana, 30% la tercera semana y 40% la última semana, en lugar de emplear únicamente una demanda aleatoria normal, ya que esto le daría un toque más realista a la simulación.

6 Referencias

- Abbas, K. A. (1994). System dynamics applicability to transportation modeling. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 373-390.
- Angerhofer, B. J., & Angelides, M. C. (2000). System dynamics modelling in supply chain management: research review. *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, (págs. 342-352). Uxbridge, Middlesex.
- Aracil, J. (1995). *Dinámica de sistemas*. Madrid: Isdefe.
- Campuzano, F., & Mula, J. (2011). *Supply Chain Simulation: A System Dynamics Approach for Improving Performance*. London, UK: Springer.
- Campuzano-Bolarín, F., Mula, J., & Díaz-Madroñero, M. (2015). A supply chain dynamics model for managing perishable products under different e-business scenarios. *6th IESM Conference*. Sevilla, Spain.
- Che, X. (2013). Research on inventory and transport in VMI mode. *Applied mechanics and materials*, 1964-1968.
- Disney, S., & et al. (2005). (Supply Chain Collaboration: Making Sense of the Strategy Continuum. *European Management Journal*, 170–181.
- Disney, S., & Towill, D. (2003). On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy. *Omega The international journal of management science*, 157 – 167.
- Disney, S., Potter, A., & Gardner, B. (2003). The impact of vendor managed inventory on transport operations. *Logistics Systems Dynamics Group*, 363-380.
- Forrester, J. (1958). Industrial dynamics. *Harvard Business Review* 36, 37–66.
- Georgiadis, P., Vlachos, D., & Iakovou, E. (2005). A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains. *Journal of food engineering*, 351–364.
- Guerrin, F. (2004). Simulation of stock control policies in a two-stage production system Application to pig slurry management involving multiple farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 27–50.
- Holweg, M., & Bicheno, J. (2000). The Reverse Amplification Effect in Supply Chains. *Global logistics for the new millennium – 5th international symposium on logistics*, 549–554.
- Juntunen, J., & Jari, J. (2009). Controlling the Bullwhip with Transport Capacity Constraints. *International Journal of Services and Standards*, 160–171.
- Mason, R., & Chandra, L. (2006). Transport Integration Tools for Supply Chain Management. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 57–74.
- Minegishi, S., & Thiel, D. (2000). System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain. *Simulation Practice and Theory*, 321±339.
- Mula, J., Campuzano-Bolarin, F., Díaz-Madroñero, M., & Carpio, K. M. (2013). A system dynamics model for the supply chain procurement transport problem: comparing spreadsheets, fuzzy programming and simulation approaches. 4087-4104.

- Naim, M. M., Potter, A. T., Mason, R. J., & Nicola, B. (2006). The Role of Transport Flexibility in Logistics Provision. *International Journal of Logistics Management*, 297–311.
- Orejuela, J., Casilimas, W., & Herrera, M. (2015). Impact analysis of transport capacity and food safety in Bogota. 1-7.
- Potter, A., & Lalwani, C. (2008). Investigating the impact of demand amplification on freight transport. *Transport Research Part E*, 835–846.
- Sheperd, S. P. (2014). A review of system dynamics models applied in transportation. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, Issue 2.
- Spiegler, V., & Naim, M. (2013). The impact of freight transport capacity limitations on supply chain dynamics. 64-88.
- Steinke, W., Stonebraker, P., & Ross, D. (2003). Controlling bullwhips. *Traffic World*, 6.
- Sterman, J. D. (1989). Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment. *Management Science*, 321-339.
- Tako, A. A., & Robinson, S. (2012). The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. *Decision Support Systems*, 802–815.
- Villegas, F. A., & Smith, N. R. (2006). Supply chain dynamics: analysis of inventory vs. order oscillations trade-off. *International Journal of Production Research*, 1037-1054.
- Wilson, M. C. (2007). The impact of transportation disruptions on supply chain performance. *Transportation Research*, 295–320.

7 Anexos

7.1 Datos y fórmulas del modelo de simulación

A continuación se facilitan los datos de entrada del modelo y también las fórmulas obtenidas a partir del programa de simulación Vensim®.

(001) a TC G=1
Units: Day

(002) a TC M=1
Units: Day

(003) a TC P=1
Units: Day

(004) a TC Q=1
Units: Day

(005) Abastecimiento[FProduct]=MIN(MAX(Inventario G[FProduct]-Ventas G[FProduct], 0), Pedidos M[FProduct]+Pedidos P[FProduct])
Units: **undefined**

(006) Ajuste de la posición del inventario G[FProduct]=MAX((Posición deseada del inventario*m G[FProduct])-Posición del inventario [FProduct], 0) / Tiempo ajuste posición del inventario G
Units: items/Day

(007) Ajuste de la posición del inventario M[FProduct]=MAX((Posición deseada del inventario*m M[FProduct])-Posición del inventario M[FProduct] , 0) / Tiempo ajuste posición del inventario M
Units: items/Day

(008) Ajuste de la posición del inventario P[FProduct]=MAX((Posición deseada del inventario*m P[FProduct])-Posición del inventario P[FProduct] , 0) / Tiempo ajuste posición del inventario P
Units: items/Day

(009) Ajuste posición del inventario Q[FProduct]=MAX((Posición deseada del inventario*m P[FProduct])-Posición del inventario Q[FProduct], 0) / Tiempo ajuste posición del inventario Q
Units: items/Day

(010) Capacidad de transporte G= INTEG (INTEGER(Tasa de adquisición de capacidad de transporte G-Tasa de disposición de la capacidad de transporte G),0)
Units: trucks

(011) Capacidad de transporte M= INTEG (INTEGER(Tasa de adquisición de capacidad de transporte M-Tasa de disposición de la capacidad de transporte M),0)
Units: trucks

(012) Capacidad de transporte P= INTEG (INTEGER(Tasa de adquisición de capacidad de transporte P-Tasa de disposición de la capacidad de transporte P),0)
Units: trucks

(013) Capacidad de transporte Q= INTEG (INTEGER(Tasa de adquisición de capacidad de transporte Q-Tasa de disposición de la capacidad de transporte Q),0)
Units: trucks

(014) Capacidad subcontratada de transporte G=Escasez de la capacidad de transporte G
Units: trucks

(015) Capacidad subcontratada de transporte M=Escasez de la capacidad de transporte M
Units: trucks

(016) Capacidad subcontratada de transporte P=Escasez de la capacidad de transporte P
Units: trucks

(017) Capacidad subcontratada de transporte Q=Escasez de la capacidad de transporte Q
Units: trucks

(018) Ciclo de vida de la capacidad=30
Units: Day

(019) Cumplimiento de los pedidos G[FPProduct]=DELAY FIXED(Pedidos G[FPProduct], Tiempo de suministro G , 0)
Units: items/Day

(020) Cumplimiento de los pedidos M[FPProduct]=DELAY FIXED(Pedidos M[FPProduct], Tiempo de suministro M , Pedidos M[FPProduct])
Units: items/Day

(021) Cumplimiento de los pedidos P[FPProduct]=DELAY FIXED(Pedidos P[FPProduct], Tiempo de suministro P , 0)
Units: items/Day

(022) Cumplimiento de pedidos Q[FPProduct]= DELAY FIXED (Pedidos Q[FPProduct], Tiempo de suministro Q , 0)

(023) Demanda G[FPProduct]=INTEGER(RANDOM NORMAL(min G[FPProduct], max G[FPProduct] , m G[FPProduct] , s G[FPProduct] , Seed))
Units: items/Day

(024) Demanda M[FPProduct]=INTEGER(RANDOM NORMAL(min M[FPProduct], max M[FPProduct] , m M[FPProduct] , s M[FPProduct] , Seed))
Units: items/Day

(025) Demanda $P[\text{FProduct}] = \text{INTEGER}(\text{RANDOM NORMAL}(\text{min } P[\text{FProduct}], \text{max } P[\text{FProduct}], m P[\text{FProduct}], s P[\text{FProduct}], \text{Seed}))$

Units: items/Day

(026) Demanda $Q[\text{FProduct}] = \text{INTEGER}(\text{RANDOM NORMAL}(\text{min } Q[\text{FProduct}], \text{max } Q[\text{FProduct}], m Q[\text{FProduct}], s Q[\text{FProduct}], \text{Seed}))$

Units: items/Day

(027) Demanda total de transporte $G = \text{SUM}(\text{Ventas } G[\text{FProduct!}]) / \text{Litros por camión}$

Units: trucks/Day

(028) Demanda total de transporte $M = (\text{SUM}(\text{Ventas } M[\text{FProduct!}])) / \text{Litros por camión}$

Units: trucks/Day

(029) Demanda total de transporte $P = (\text{SUM}(\text{Ventas } P[\text{FProduct!}])) / \text{Litros por camión}$

Units: trucks

(030) Demanda total de transporte $Q = \text{SUM}(\text{Ventas } Q[\text{FProduct!}]) / \text{Litros por camión}$

Units: trucks

(031) Escasez de la capacidad de transporte $G = \text{MAX}(\text{Necesidad de capacidad de transporte } G - \text{Capacidad de transporte } G, 0)$

Units: trucks

(032) Escasez de la capacidad de transporte $M = \text{MAX}(\text{Necesidad de capacidad de transporte } M - \text{Capacidad de transporte } M, 0)$

Units: trucks

(033) Escasez de la capacidad de transporte $P = \text{MAX}(\text{Necesidad de capacidad de transporte } P - \text{Capacidad de transporte } P, 0)$

Units: trucks

(034) Escasez de la capacidad de transporte $Q = \text{MAX}(\text{Necesidad de capacidad de transporte } Q - \text{Capacidad de transporte } Q, 0)$

Units: trucks

(035) Escasez de la capacidad de transporte suavizada $G = \text{DELAY FIXED}(\text{Escasez de la capacidad de transporte } G, a \text{ TC } G, \text{Escasez de la capacidad de transporte } G)$

Units: trucks

(036) Escasez de la capacidad de transporte suavizada $M = \text{DELAY FIXED}(\text{Escasez de la capacidad de transporte } M, a \text{ TC } M, \text{Escasez de la capacidad de transporte } M)$

Units: trucks

(037) Escasez de la capacidad de transporte suavizada P=DELAY FIXED(Escasez de la capacidad de transporte P, a TC P , Escasez de la capacidad de transporte P)

Units: trucks

(038) Escasez de la capacidad de transporte suavizada Q=DELAY FIXED(Escasez de la capacidad de transporte Q, a TC Q , Escasez de la capacidad de transporte Q)

Units: trucks

(039) Fábrica[FProduct]= INTEG (-Pedidos G[FProduct]-Pedidos Q[FProduct],1e+025)

Units: items

(043) Inv Ini G[FProduct]=6149, 7174, 1281, 1794, 5893, 3331

(044) Inv Ini M[FProduct]=6149, 7174, 1281, 1794, 5893, 3331

(045) Inv Ini P[FProduct]=6149, 7174, 1281, 1794, 5893, 3331

(046) Inv Ini Q[FProduct]=6149, 7174, 1281, 1794 ,5893, 3331

(047) Inventario G[FProduct]= INTEG (Cumplimiento de los pedidos G[FProduct]-Ventas G[FProduct]-Abastecimiento[FProduct],Inv Ini G[FProduct])

Units: items

(048) Inventario M[FProduct]= INTEG (Cumplimiento de los pedidos M[FProduct]-Ventas M[FProduct],Inv Ini M[FProduct])

Units: items

(049) Inventario P[FProduct]= INTEG (-Ventas P[FProduct]+Cumplimiento de los pedidos P[FProduct],Inv Ini P[FProduct])

Units: items

(050) Inventario Q[FProduct]= INTEG (Cumplimiento de pedidos Q[FProduct]-Ventas Q[FProduct],Inv Ini Q[FProduct])

Units: items

(051) Inventario total G=SUM(Inventario G[FProduct!])

Units: **undefined**

(052) Linea de suministro G[FProduct]= INTEG (Pedidos G[FProduct]-Cumplimiento de los pedidos G[FProduct],0)

Units: items

- (053) Línea de suministro M[FProduct]= INTEG (Pedidos M[FProduct]-
Cumplimiento de los pedidos M[FProduct],0)
Units: items
- (054) Línea de suministro P[FProduct]= INTEG (Pedidos P[FProduct]-
Cumplimiento de los pedidos P[FProduct],0)
Units: items
- (055) Litros por camión=1200
- (056) Línea de suministro Q[FProduct]= INTEG (Pedidos Q[FProduct]-
Cumplimiento de pedidos Q[FProduct],0)
Units: items
- (057) m G[FProduct]=1400, 1633, 292, 409, 1341, 758
Units: items/Day
- (058) m M[FProduct]=530, 618, 111, 155, 508, 287
Units: items/Day
- (059) m P[FProduct]=730, 852, 153, 214, 700, 396
Units: items/Day
- (060) m Q[FProduct]=1214, 1416, 254, 355, 1163, 658
Units: items/Day
- (061) max G[FProduct]=4947, 5772, 1031, 1443, 4741, 2680
Units: **undefined**
- (062) max M[FProduct]=1847, 2155, 385, 539, 1770, 1001
Units: **undefined**
- (063) max P[FProduct]=2677, 3123, 558, 781, 2565, 1450
Units: **undefined**
- (064) max Q[FProduct]=4777, 5573, 996, 1394, 4578, 2588
Units: **undefined**
- (065) min G[FProduct]=239, 279, 50, 70, 229, 130
Units: **undefined**
- (066) min M[FProduct]=102, 118, 22, 30, 97, 55
Units: **undefined**
- (067) min P[FProduct]=115, 135, 24, 34, 111, 63
Units: **undefined**
- (068) min Q[FProduct]=190, 222, 40, 56, ,182, ,103
Units: **undefined**

(069) Necesidad de capacidad de transporte $G = \text{INTEGER}(\text{Demanda total de transporte } G)$

Units: trucks

(070) Necesidad de capacidad de transporte $M = \text{INTEGER}(\text{Demanda total de transporte } M)$

Units: trucks

(071) Necesidad de capacidad de transporte $P = \text{INTEGER}(\text{Demanda total de transporte } P)$

Units: trucks

(072) Necesidad de capacidad de transporte $Q = \text{INTEGER}(\text{Demanda total de transporte } Q)$

Units: trucks

(073) Pedidos $G[\text{FProduct}] = \text{DELAY FIXED} (\text{IF THEN ELSE}(\text{Posición del inventario } G[\text{FProduct}] < (\text{Punto de reorden} * m \ G[\text{FProduct}]), \text{Ajuste de la posición del inventario } G[\text{FProduct}] + \text{Demanda } G[\text{FProduct}], 0) , \text{Tiempo para la manipulación de pedidos } G, \text{IF THEN ELSE}(\text{Posición del inventario } G[\text{FProduct}] < (\text{Punto de reorden} * m \ G[\text{FProduct}]), \text{Ajuste de la posición del inventario } G[\text{FProduct}] + \text{Demanda } G[\text{FProduct}], 0))$

Units: items/Day

(074) Pedidos $M[\text{FProduct}] = \text{DELAY FIXED} (\text{IF THEN ELSE}(\text{Posición del inventario } M[\text{FProduct}] < (\text{Punto de reorden} * m \ M[\text{FProduct}]), \text{Demanda } M[\text{FProduct}] + \text{Ajuste de la posición del inventario } M[\text{FProduct}], 0) , \text{Tiempo de manipulación de pedidos } M , \text{IF THEN ELSE}(\text{Posición del inventario } M[\text{FProduct}] < (\text{Punto de reorden} * m \ M[\text{FProduct}]), \text{Demanda } M[\text{FProduct}] + \text{Ajuste de la posición del inventario } M[\text{FProduct}], 0))$

Units: items/Day

(075) Pedidos $P[\text{FProduct}] = \text{DELAY FIXED} (\text{IF THEN ELSE}(\text{Posición del inventario } P[\text{FProduct}] < (\text{Punto de reorden} * m \ P[\text{FProduct}]), \text{Demanda } P[\text{FProduct}] + \text{Ajuste de la posición del inventario } P[\text{FProduct}], 0) , \text{Tiempo de manipulación de pedidos } P , \text{IF THEN ELSE}(\text{Posición del inventario } P[\text{FProduct}] < (\text{Punto de reorden} * m \ P[\text{FProduct}]), \text{Demanda } P[\text{FProduct}] + \text{Ajuste de la posición del inventario } P[\text{FProduct}], 0))$

Units: items/Hour

(076) Pedidos $Q[\text{FProduct}] = \text{DELAY FIXED} (\text{IF THEN ELSE}(\text{Posición del inventario } Q[\text{FProduct}] < (\text{Punto de reorden} * m \ P[\text{FProduct}]), \text{Demanda } Q[\text{FProduct}] + \text{Ajuste posición del inventario } Q[\text{FProduct}], 0) , \text{Tiempo para la manipulación de pedidos } Q , \text{IF THEN ELSE}(\text{Posición del inventario } Q[\text{FProduct}] < (\text{Punto de reorden} * m \ P[\text{FProduct}]), \text{Demanda } Q[\text{FProduct}] + \text{Ajuste posición del inventario } Q[\text{FProduct}], 0))$

Units: items/Day

- (077) Posición del inventario G[FProduct]=Inventario G[FProduct]+Linea de suministro G[FProduct]
Units: items
- (078) Posición del inventario M[FProduct]=Inventario M[FProduct]+Linea de suministro M[FProduct]
Units: items
- (079) Posición del inventario P[FProduct]=Inventario P[FProduct]+Linea de suministro P[FProduct]
Units: items
- (080) Posición del inventario Q[FProduct]=Inventario Q[FProduct]+Línea de suministro Q[FProduct]
Units: items
- (081) Posición deseada del inventario=7
Units: Day
- (082) Punto de reorden=7
Units: Day
- (083) s G[FProduct]=795,927, 166, 232, 762, 431
Units: items/Day
- (084) s M[FProduct]=298,348, 62, 87, 286, 162
Units: items/Day
- (085) s P[FProduct]=424,494, 89, 124, 406, 230
Units: items/Day
- (086) s Q[FProduct]=779,909, 163, 228, 747, 423
Units: items/Day
- (088) Seed=1
Units: **undefined**
- (089) Seed Q[FProduct]=1
Units: **undefined**
- (090) Tasa de adquisición de capacidad de transporte G=DELAY FIXED(Escasez de la capacidad de transporte suavizada G, Tiempo de adquisición, 0)
Units: trucks/Day
- (091) Tasa de adquisición de capacidad de transporte M=DELAY FIXED(Escasez de la capacidad de transporte suavizada M, Tiempo de adquisición, 0)
Units: trucks/Day
- (092) Tasa de adquisición de capacidad de transporte P=DELAY FIXED(Escasez de la capacidad de transporte suavizada P, Tiempo de adquisición, 0)

Units: trucks/Day

(093) Tasa de adquisición de capacidad de transporte $Q=DELAY\ FIXED$ (Escasez de la capacidad de transporte suavizada Q , Tiempo de adquisición , Escasez de la capacidad de transporte suavizada Q)

Units: trucks/Day

(094) Tasa de disposición de la capacidad de transporte $G=Capacidad\ de\ transporte\ G/Ciclo\ de\ vida\ de\ la\ capacidad$

Units: trucks/Day

(095) Tasa de disposición de la capacidad de transporte $M=Capacidad\ de\ transporte\ M/Ciclo\ de\ vida\ de\ la\ capacidad$

Units: trucks/Day

(096) Tasa de disposición de la capacidad de transporte $P=Capacidad\ de\ transporte\ P/Ciclo\ de\ vida\ de\ la\ capacidad$

Units: trucks/Day

(097) Tasa de disposición de la capacidad de transporte $Q=Capacidad\ de\ transporte\ Q/Ciclo\ de\ vida\ de\ la\ capacidad$

Units: trucks/Day

(098) Tiempo ajuste posición del inventario $G=1$

Units: Day

(099) Tiempo ajuste posición del inventario $M=1$

Units: Day

(100) Tiempo ajuste posición del inventario $P=1$

Units: Day

(101) Tiempo ajuste posición del inventario $Q=1$

Units: Day

(102) Tiempo de adquisición=7

Units: Day

(103) Tiempo de manipulación de pedidos $M=1$

Units: Day

(104) Tiempo de manipulación de pedidos $P=1$

Units: Day

(105) Tiempo de respuesta $G=1$

Units: Day

(106) Tiempo de respuesta $M=1$

Units: Day

- (107) Tiempo de respuesta P=1
Units: Day
- (108) Tiempo de respuesta Q[FProduct]=1
Units: Day
- (109) Tiempo de suministro G=2
Units: Day
- (110) Tiempo de suministro M=2
Units: Day
- (111) Tiempo de suministro P=2
Units: Day
- (112) Tiempo de suministro Q=2
Units: Day
- (113) Tiempo para la manipulación de pedidos G=1
Units: Day
- (114) Tiempo para la manipulación de pedidos Q=2
Units: Day
- (116) Ventas $G[FProduct]=\text{MIN}(\text{MAX}(\text{Inventario } G[FProduct]/\text{Tiempo de respuesta } G, 0), \text{Demanda } G[FProduct])$
Units: items/Day
- (117) Ventas $M[FProduct]=\text{MIN}(\text{Inventario } M[FProduct]/\text{Tiempo de respuesta } M, \text{Demanda } M[FProduct])$
Units: items/Day
- (118) Ventas $P[FProduct]=\text{MIN}(\text{Inventario } P[FProduct]/\text{Tiempo de respuesta } P, \text{Demanda } P[FProduct])$
Units: items/Day
- (119) Ventas $Q[FProduct]=\text{MIN}(\text{Inventario } Q[FProduct]/\text{Tiempo de respuesta } Q[FProduct], \text{Demanda } Q[FProduct])$
Units: items/Day
- (120) Ventas totales $G=\text{SUM}(\text{Ventas } G[FProduct!])$

7.2 Diagrama de flujo completo

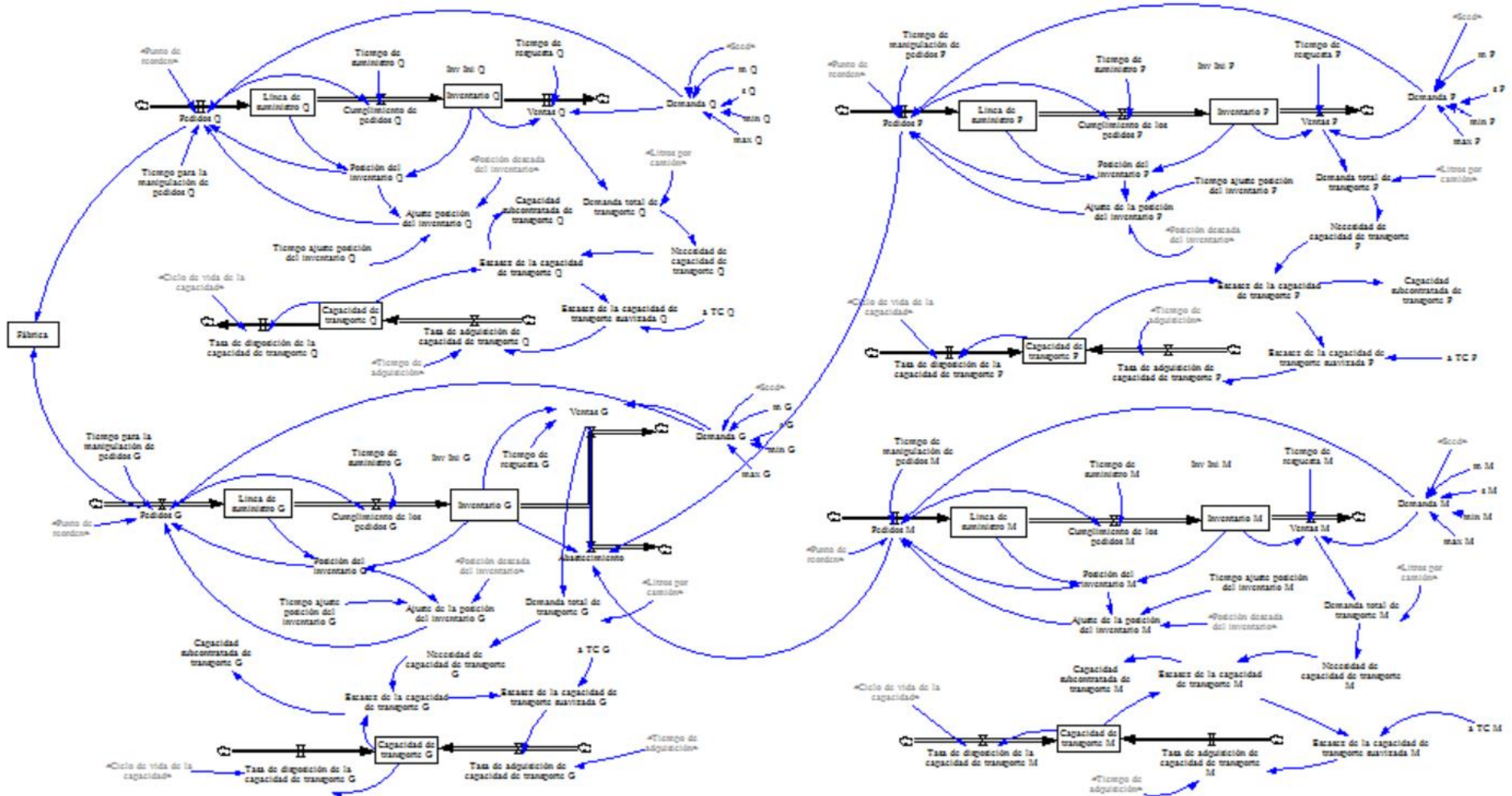


Figura 18 Diagrama de flujo de la red de distribución