UCAB

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

FORMULACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EMPRESAS COMERCIALIZADORAS DE BIENES SUJETAS A DEMANDA INDEPENDIENTE

REALIZADO POR: BR. SANDOVAL L., JUAN

PROFESOR GUÍA: ING. GUTIÉRREZ L.,LUIS

FECHA: MAYO, 2014

SINOPSIS

El problema de gestionar inventario es uno de los más importantes para las empresas. Una empresa que gestiona de forma adecuada su inventario minimiza los costos de operación mientras es capaz de cumplir con las necesidades de demanda de sus clientes, generando valor a través de la cadena de suministro. En este trabajo, se describen las características resaltantes y la situación actual de los sistemas de inventario de comercializadoras en Venezuela. Posteriormente se construye un modelo que integra las características de estos sistemas y las necesidades frecuentes de los gerentes. El modelo del sistema se integra en una herramienta computarizada que propone buenas políticas de inventario y permite estudiar el impacto de cualquier política mediante simulaciones rápidas pero realistas. La herramienta está orientada principalmente a los análisis de sensibilidad del sistema ante cambios en los costos, las restricciones, el tiempo de caducidad y la variabilidad de la demanda y las demoras. Esto constituye un aspecto importante dado que las empresas de hoy en día se encuentran en un entorno de constante transformación. El objetivo final de esta herramienta es reducir los costos de operación de inventarios mientras se asegura un buen servicio a los clientes, así como probar los planes de inventarios antes de llevarlos a la realidad.



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

FORMULACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EMPRESAS COMERCIALIZADORAS DE BIENES SUJETAS A DEMANDA INDEPENDIENTE.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRES BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO INDUSTRIAL

REALIZADO POR:

BR. SANDOVAL L., JUAN

PROFESOR GUÍA:

ING. GUTIÉRREZ.,LUIS

FECHA:

MAYO, 2014



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

FORMULACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EMPRESAS COMERCIALIZADORAS DE BIENES SUJETAS A DEMANDA INDEPENDIENTE.

Este jurado, una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: Diecinve (19) pontos

JURADO EXAMINADOR

Nombre Ing. 1000 B. De Goulliambre:

irmas/12/Jochem 1000 Firma:

REALIZADO POR: BR. SANDOVAL L., JUAN

TEMPEMbre: CESTAR

PROFESOR GUÍA: ING. GUTIÉRREZ.,LUIS

FECHA: MAYO, 2014

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE G	ENER	AL
ÍNDICE D	E FIG	URASiv
ÍNDICE D	E TAE	8LAS v
SINOPSIS		vii
INTRODU	JCCIÓ	N
CAPITUL	O I- EI	PROBLEMA 2
1.1.	Plan	teamiento del problema2
1.2.	Obje	tivos3
1.2.	1.	Objetivo general
1.2.	2.	Objetivos específicos
1.3.	Alca	nce
1.4.	Limi	taciones4
CAPÍTUL	0 11- 1	MARCO TEÓRICO
2.1.	ANT	ECEDENTES 5
2.2.	BAS	ES TEÓRICAS5
2.2.	1.	Cadena de suministro
2.2.	2.	Empresas comercializadoras
2.2.	3.	Inventarios
2.2.	4.	Sistema de inventarios
2.2.	5.	Problema de inventarios
2.2.	6.	Políticas de inventario
2.2.	7.	Propiedades de un sistema de inventarios
2.2.	8.	Valores óptimos para políticas de revisión continua 15
2.2.	9.	Cálculo de Q y R cuando no se especifica el costo unitario de faltantes p 17
2.2.	10.	Cálculo de valores óptimos para distintos tipos de política 18
2.2.	11.	Ecuaciones auxiliares para revisión periódica cuando no hay costo de faltantes 18
2.2.	12.	Simulación15
CAPÍTUL	O III-N	MARCO METODOLÓGICO21
3.1	Tino	v diseño de investigación

	3.1.1.		Diseño de la investigación	21
	3.1.2.		Enfoque de la investigación	22
	3.1.3.		Unidades de análisis	23
3.	.2. 7	- écn	icas y herramientas utilizadas	23
	3.2.1.		Diagrama de flujo	23
	3.2.2.		Hojas de cálculo de MS Excel	23
	3.2.3.		Programación estructurada	24
	3.2.4.		Etapas para desarrollo de software	24
	3.2.5.		Programación en lenguaje R	26
	3.2.6.		Entorno de desarrollo integrado RStudio	26
	3.2.7.		Datos de prueba	26
3.	3. F	ase	s del estudio	27
3.	4. V	/aria	ables en estudio	27
3.	5. ()pei	racionalización de variables	28
CAP	ÍTULO	IV-D	DESARROLLO	29
4.	1. F	ase	I: Revisión bibliográfica	29
	4.1.1.		Situación actual en Venezuela de la gestión de inventarios para detallistas.	29
4.	2. F	ase	II: Entrevista a consultores en el área	31
4.	3. F	ase	III: Modelado conceptual del sistema de inventarios	32
	4.3.1.		Propiedades requeridas del sistema real.	32
	4.3.2.		Dinámica del sistema	37
	4.3.3.		Fronteras del sistema	38
	4.3.4.		Objetivos del sistema	38
4.	4. F	ase	IV: modelado matemático del sistema de inventarios	38
	4.4.1.		Tipo de sistema	38
	4.4.2.		Variables	38
	4.4.3.		Recursos	41
	4.4.4.		Entidades	42
	4.4.5.		Eventos	42
	4.4.6.		Actividades	42
	4.4.7.		Atributos	42
	442		Matrices de variables	42

	4.4.	9.	Medidas de desempeño	
	4.4.	10.	Identificación de los objetivos del modelo	45
	4.5.	Fase	V: Diseño de algoritmo de procesos de gestión	45
	4.5.	1.	Entradas del algoritmo	45
	4.5.	2.	Algoritmo para simulación	48
	4.5.	3.	Algoritmo de recomendación	52
	4.6.	Fase	VI: Creación de aplicación informática	53
CA	PÍTUL	O V-P	RUEBAS	54
	5. 1 .	Fase	VII: Análisis del desempeño del modelo programado	54
	5.1.	1.	Artículo seleccionado	54
	5.1.	2.	Características del artículo	54
	5.1.	3.	Obtención de una política recomendada	54
	5.1.	4.	Informe de recomendación	56
	5. 1.	5.	Simulación de políticas recomendadas	56
	5.1.	6.	Informe de simulación	57
	5.1.	7.	Gráficas del flujo del inventario	60
	5. 1 .	8.	Sensibilidad de la simulación a la caducidad	62
CC	NCLU:	SIONI	ES Y RECOMENDACIONES	66
RE	FEREN	CIAS	BIBLIOGRÁFICAS	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo probabilístico de inventario	3
Figura 2: Analogía del sistema de inventarios modelado	32
Figura 3: Diagrama de flujo del programa completo	
Figura 4: Lectura, procesamiento y salida de datos en RStudio.	53
Figura 5: Promedio de costo variable de pedir y costo total sin caducidad	58
Figura 6: Promedio de costo fijo de pedir, de mantener y de faltantes sin caducidad	58
Figura 7: Promedio de nivel de servicio y tasa de surtido sin caducidad	59
Figura 8: Inventario final y nivel de inventario después de pedir para política A	60
Figura 9: Inventario final y nivel de inventario después de pedir para política B	61
Figura 10: Inventario final y nivel de inventario después de pedir para política C	61
Figura 11: Inventario final y nivel de inventario después de pedir para política D	62
Figura 12: Comparación de costo variable de pedir y costo total, con y sin caducidad	63
Figura 13: Comparación de costo fijo de pedir, de mantener y de faltantes, con y sin caducida	
Figura 14: Comparación nivel de servicio y tasa de surtido, con y sin caducidad	63
Figura 15: Inventario final y nivel de inventario después de pedir para política C con caducidad	
—• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-2-17) —• (1-	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Trabajos de grado utilizados en la elaboración de este estudio	5
Tabla 2: Principales tipos de inventario para detallistas/minoristas	
Tabla 3: Tipos de política según sus variables de control.	
Tabla 4: Ecuaciones para la demanda.	
Tabla 5: Propiedades de la reposición	
Tabla 6: Componentes del costo de mantener inventario	12
Tabla 7: Porcentajes relativos de en el costo de mantener inventario.	
Tabla 8: Ecuaciones de propiedades de los costos.	13
Tabla 9: Ecuaciones de propiedades de los costos. Continuación	
Tabla 10: Restricciones de demanda.	15
Tabla 11: Restricciones de reposición	15
Tabla 12: Ecuaciones para revisión continua.	
Tabla 13: Ecuaciones para revisión continua. Continuación	17
Tabla 14: Valores óptimos de variables control según política.	18
Tabla 15: Aproximación de valores de política	19
Tabla 16: Ecuaciones para revisión periódica.	19
Tabla 17: Símbolos de diagrama de flujo.	
Tabla 18: Fases del estudio	27
Tabla 19: Variables y objetivos	27
Tabla 20: Operacionalización de variables.	28
Tabla 21: Puntos vitales de entrevista a consultores de inventarios	31
Tabla 22: Propiedades del sistema de inventarios a modelar	33
Tabla 23: Propiedades del sistema de inventarios a modelar. Continuación	
Tabla 24: Propiedades del sistema de inventarios a modelar. Continuación	
Tabla 25: Propiedades del sistema de inventarios a modelar. Continuación	
Tabla 26: Variables control	
Tabla 27: Variables de estado	
Tabla 28: Variables de conteo	
Tabla 29: Variables acumuladoras	
Tabla 30: Variables aleatorias	
Tabla 31: Variables auxiliares	
Tabla 32: Actividades y duraciones	
Tabla 33: Atributos de unidades	
Tabla 34: Ejemplo de matriz principal	
Tabla 35: Ejemplo de matriz principal. Continuación	
Tabla 36: Medidas de desempeño	
Tabla 37: Desempeño para cada replicación.	
Tabla 38: Ejemplo de opciones generales del programa	
Tabla 39: Columnas de opciones generales	
Tabla 40: Ejemplo de opciones de costos	

Tabla 41: Columnas de opciones de costos del programa	46
Tabla 42: Ejemplo de opciones de política del programa	47
Tabla 43: Columnas de opciones de política del programa	
Tabla 44: Ejemplo de parámetros de la demanda.	47
Tabla 45: Ejemplo de serie de tiempo de ventas.	47
Tabla 46: Ejemplo de opciones de símulación.	
Tabla 47: Ejemplo de opciones de recomendación.	
Tabla 48: Columnas de opciones de simulación del programa	48
Tabla 49: Columnas de opciones de recomendación del programa	48
Tabla 50: Ecuaciones para la simulación	49
Tabla 51: Ecuaciones para simulación. Continuación	
Tabla 52: Opciones generales del artículo	
Tabla 53: Opciones de costos del artículo.	55
Tabla 54: Parámetros de la demora de proveedor del artículo	55
Tabla 55: Parámetros de la demora de transporte del artículo	55
Tabla 56: Serie de ventas históricas del artículo	56
Tabla 57: Opciones de recomendación del artículo	56
Tabla 58: Políticas recomendadas	56
Tabla 59: Opciones de política para simular	57
Tabla 60: Opciones de simulación para el artículo.	57
Tabla 61: Medidas de desempeño para las cuatro políticas sin caducidad	58
Tabla 62: Informe de medidas de desempeño, política C (tZ) con caducidad	62

UCAB

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

FORMULACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EMPRESAS COMERCIALIZADORAS DE BIENES SUJETAS A DEMANDA INDEPENDIENTE

REALIZADO POR: BR. SANDOVAL L., JUAN

PROFESOR GUÍA: ING. GUTIÉRREZ L.,LUIS

FECHA: MAYO, 2014

SINOPSIS

El problema de gestionar inventario es uno de los más importantes para las empresas. Una empresa que gestiona de forma adecuada su inventario minimiza los costos de operación mientras es capaz de cumplir con las necesidades de demanda de sus clientes, generando valor a través de la cadena de suministro. En este trabajo, se describen las características resaltantes y la situación actual de los sistemas de inventario de comercializadoras en Venezuela. Posteriormente se construye un modelo que integra las características de estos sistemas y las necesidades frecuentes de los gerentes. El modelo del sistema se integra en una herramienta computarizada que propone buenas políticas de inventario y permite estudiar el impacto de cualquier política mediante simulaciones rápidas pero realistas. La herramienta está orientada principalmente a los análisis de sensibilidad del sistema ante cambios en los costos, las restricciones, el tiempo de caducidad y la variabilidad de la demanda y las demoras. Esto constituye un aspecto importante dado que las empresas de hoy en día se encuentran en un entorno de constante transformación. El objetivo final de esta herramienta es reducir los costos de operación de inventarios mientras se asegura un buen servicio a los clientes, así como probar los planes de inventarios antes de llevarlos a la realidad.

INTRODUCCIÓN

Gracias a los avances en la computación, se ha despertado un gran interés en la automatización y optimización de los procesos en las empresas. Específicamente, la gestión de inventarios ha sido una de las áreas donde más se ha acentuado esta tendencia.

Existen sistemas automáticos que registran el movimiento del inventario, tanto dentro como fuera del almacén, incluso antes de que éste exista físicamente. Estos sistemas también ofrecen herramientas para planificar las órdenes de compra, según los niveles de inventario registrados.

Estos sistemas son buenos para describir el estado actual del sistema, pero muy pocos apoyan las decisiones tomando en cuenta el riesgo de las mismas. Por esto, algunas empresas no utilizan estos sistemas debido a la alta variabilidad del ambiente en el que operan, reflejada en la demanda a satisfacer y las demoras para que llegue un pedido.

En particular, quienes se enfrentan frecuentemente al problema de la variabilidad son las empresas que satisfacen una demanda independiente, es decir, aquella que no depende de otros productos en inventario y se enlaza directamente con el cliente.

Por esta razón, estas empresas están cada vez más interesadas en entender el impacto de cada decisión, y más aún, en saber cuál es la mejor decisión que podría tomar bajo ciertas condiciones.

En el Capítulo I de este trabajo, se pone la investigación en contexto y se detalla el problema a tratar. En el Capítulo II se explican los fundamentos teóricos para entender el desarrollo del estudio. En el Capítulo III se detalla la metodología seguida en el desarrollo. En el Capítulo IV se desarrolla el estudio al formular el modelo y diseñar la aplicación informática respectiva. Por último, en el Capítulo V se realizan pruebas para comprobar el funcionamiento de la aplicación informática.

CAPITULO I- EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Las empresas comercializadoras son aquellas que distribuyen producto terminado, por lo cual no agregan valor de producto como las empresas productoras sino que agregan valor de logística (acercan el producto al cliente). Estas empresas se enfrentan constantemente a un problema de gestión de inventarios con el fin de satisfacer la demanda de sus clientes.

En la mayoría de los casos las empresas suelen apegarse a la estrategia de tener grandes "colchones" de inventarios para escapar de la posibilidad de quiebre (StockOut), debido a la aleatoriedad de la demanda y los tiempos muertos de proveedores. Esta estrategia es ineficiente en términos de costos porque pueden terminar pagando más dinero por mantener inventario hasta que realmente se necesita. Además suele ocurrir que se vende menos que lo que se compró, problema que en el caso de inventario perecedero se acentúa aún más.

En el mercado existen numerosas aplicaciones de informáticas en el mercado que prometen optimizar la gestión de inventarios, pero generalmente caen en uno de dos extremos:

- Aplicaciones de contabilidad: son aplicaciones que sirven primordialmente para llevar el control de las cantidades de dinero que fluyen día a día en forma de inventario dentro de la empresa. En su mayoría no contemplan la variabilidad de proveedores ni de la demanda.
- Aplicaciones de simulación: son aplicaciones que pueden representar fielmente el sistema y su variabilidad, incluso con detalles físicos como el transporte y el almacenamiento. Sin embargo, este nivel de detalle hace que la simulación tarde un buen tiempo en completarse (a veces más de lo que el gerente puede esperar para decidir) y la mayoría de algoritmos de optimización matemática no son fácilmente aplicables.

Sin embargo, las decisiones que se deben tomar respecto al inventario de cada producto en la empresa suelen ser dos:

- Cuándo pedir. Es el tiempo que debe esperarse para pedir inventario.
- Cuánto pedir. Se refiere a la cantidad que se debe pedir en cada instante.

Algunas de las variables anteriores pueden graficarse en un Modelo Probabilístico de Inventario como el de la Figura 1.

Por esta razón se ha decidido poner en marcha el proyecto de formulación de un modelo de gestión de inventarios para empresas comercializadoras de bienes. Se

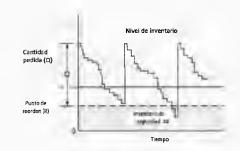


Figura 1: Modelo probabilístico de inventario Fuente: http://flylib.com/books/en/3.287.1.224/1/

espera que esta herramienta facilite a los gerentes responsables del inventario en las empresas la toma de decisiones para que estas sean ágiles, acertadas y justificadas sin tener que recurrir a la mera intuición.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Formular un modelo de gestión de inventarios para empresas comercializadoras de bienes sujetas a demanda independiente.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar sistemas de inventarios de empresa comercializadoras sujetas a demanda independiente.
- Identificar las variables de los sistemas de gestión analizados.
- Analizar las relaciones que existen entre las variables identificadas.
- Diseñar procesos para la gestión de inventarios, haciendo uso de herramientas de investigación operativa.
- Desarrollar una aplicación informática que automatice el tratamiento de los procesos diseñados.
- Comprobar el funcionamiento de la aplicación desarrollada.

1.3. Alcance

La extensión del presente trabajo de investigación se delimitará de la siguiente manera:

• Se tomarán en cuenta sólo las variables que se consideren más influyentes en el

inventario de las empresas comercializadoras.

- El desarrollo del modelo matemático de inventarios estará basado en el modelo de investigación de operaciones de inventario probabilístico.
- Se hará uso de hojas de cálculo de MS Excel para representar el modelo, para la creación de una interfaz gráfica y para la integración con el lenguaje R.
- Se utilizara el software de análisis matemático R por su sencillez y facilidad de integración con MS Excel, además de sus vastas librerías de tratamiento estadístico de datos, de simulación y de optimización matemática.
- Se hace uso en lo posible de algoritmos de optimización y simulación tradicionales.
- Se diseña un modelo para un único producto.

1.4. Limitaciones

- Algunas empresas no suelen ceder con facilidad sus bases de datos por motivos de seguridad, con lo cual es posible que se deban estimar algunos datos.
- Modelar todos los productos y procesos internos de una empresa es difícil, por lo cual se tomara un esquema que sea representativo de sistemas de inventario más complejos.
- Algunos algoritmos de optimización requieren demasiado tiempo de cálculo y por tanto no se podrán incluir en el modelo.
- Existen métodos matemáticos del lenguaje R que aún están siendo probados, por lo cual no podrán utilizarse.
- Existen compañías que no poseen bases de datos suficientemente grandes como para poder usarse en métodos de pronóstico, por lo cual en esos casos deberán estimarse algunos parámetros del modelo.

CAPÍTULO II- MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Para la realización de este trabajo, se consultaron trabajos especiales de grado para poder complementar la información de la bibliografía. En la Tabla 1 se muestran los trabajos especiales de grado consultados en este estudio.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Cadena de suministro

Según Chopra (2009): "la cadena de suministros consiste de todas las etapas involucradas, directamente o indirectamente, en la satisfacción de un requerimiento

Título	Área de estudio, autores y profesores guía	Institución y fecha	Objetivo general	Aportes
"Mejoras a la gestión de inventarios de un centro de distribución secundario de una empresa de productos de consumo masivo".	Ingeniería Industrial Autores: Itriago, Cesar y Jardim, Katherin. Tutor: ing. Emmanuel López.	UCAB Febrero, 2010.	Proponer mejoras a la gestión de inventarios de un centro de distribución secundario de una empresa de productos de consumo masivo.	Marco t eó rico
"Mejora de la gestión de inventario para el almacén de la dirección de servicios generales de la UCAB.s	Ingeniería Industrial Autores: Díaz Eric, y Monzón Jesús. Tutor: ing. Antonio Borges.	UCAB Octubre, 2010.	Mejorar la gestión de inventario para el almacén de la Dirección de Servicios Generales de la UCAB.	Marco teórico

Fuente: Autor (2014)

de un cliente. La cadena de suministros no solo incluye al fabricante y los proveedores, sino también a los transportistas, almacenes, distribuidores, y a los clientes mismos" "El objetivo de toda cadena de suministros es maximizar el valor total generado".

2.2.2. Empresas comercializadoras

Según Chopra (2008), una cadena de suministro típica puede estar compuesta de varias etapas: proveedores de componentes y materias primas, fabricantes, mayoristas/distribuidores, minoristas/detallistas y clientes. Cada etapa se conecta mediante el flujo de productos, información y fondos. Los flujos pueden ir en ambas direcciones.

Las comercializadoras de bienes sujetas a demanda independiente suelen operar en las etapas de detallistas/minoristas. Estas empresas compran producto terminado y lo venden al cliente.

2.2.3. Inventarios

El inventario se define como cualquier activo reservado para uso o venta futura. Existen diversos tipos de inventario según la empresa y el producto que se almacena (Collier, 2009, pág.481).

2.2.3.1. Tipos de inventario

En la Tabla 2 se listan los tipos de inventario más comunes que manejan los detallistas/minoristas (Collier, 2009, págs. 483,484 y Ballou, 2004, págs. 330 y 331).

Tabla 2: Principales tipos de inventario para detallistas/minoristas

Tipo de inventario	Descripción
Inventario en proveedor	Es el que se pidió y aún no ha sido preparado por el proveedor.
Inventario en transporte (en ductos)	Es el que se pidió, se embarcó y aún no ha sido traído por el transporte.
Inventario fuera	Es el inventario en proveedor más el inventario en transporte, es decir, el que no está en almacén.
Inventario disponible (en almacén)	Es el que se tiene a la mano para venderse.
Nivel de inventario	Es el inventario disponible más el inventario fuera, es decir, el inventario total.
Inventario de anticipación (estacional)	Es el que satisface la componente estacional de la demanda.
Inventario cíclico	Es el que se satisface la demanda promedio entre reposiciones sucesivas.
Inventario de seguridad	Es una cantidad adicional que se mantiene, para proteger contra la variabilidad de la demanda.
Inventario faltante	Representa la demanda del cliente que se pierde o aplaza por no tener suficiente inventario en cualquier momento dado.
Inventario caduco (u obsoleto)	Representa el que se ha perdido luego de cierto tiempo, cuando es perecedero

Fuente: Adaptación del Autor (2014)

2.2.4. Sistema de inventarios

Para este trabajo, se adopta la definición de sistema de inventario dada por Naddor (1966, pág. 3). Según esta definición, un sistema de inventario es un sistema donde solamente los siguientes tres costos son considerados, y al menos dos de ellos se pueden controlar: el costo de mantener inventarios, el costo de incurrir en faltantes y el costo de pedir inventario.

2.2.5. Problema de inventarios

Según Naddor (1996, pág. 8), un problema de inventario: "es el problema de hacer decisiones óptimas respecto a un sistema de inventarios". Es decir, un problema de inventario se preocupa de hacer decisiones que minimizan el costo total de un sistema de inventario, dadas

ciertas restricciones. Las decisiones que minimizan el costo total se suelen hacer en términos de tiempo y de cantidad. El momento de pedir y la cantidad a pedir, se denominan variables de control del sistema de inventario. Estas afectan los tres costos del sistema, y por tanto, el costo total.

2.2.6. Políticas de inventario

En las decisiones de políticas de inventario, el elemento tiempo se suele expresar en una de dos formas:

- El inventario debe reponerse cuando el inventario es menor o igual a z unidades.
- El inventario debe reponerse cada t unidades de tiempo.

Variable control de tiempo (cuándo pedir)	Variable control de cantidad (cuánto pedir)	Tipo de política
Punto de reorden	Tamaño de lote	(z,Z)
Punto de reorden	Nivel de reorden	(z,q)
Tiem p o entre revisiones	Tamaño de lote	(t,Z)
Tiempo entre revisiones	Niv e l de reorden	(t,q)

Fuente: autor (2014)

Y el elemento cantidad, se expresa en una de dos formas:

- La cantidad a ser ordenada es q unidades de cantidad.
- La cantidad a ser ordenada lleva el inventario a un nivel de Z unidades.

Las cantidades z, t, q y Z representan las variables control en una política y se denominan punto de reorden, tiempo entre revisiones, tamaño de lote y nivel de reorden respectivamente. Los tipos de política de inventario según sus variables de control se muestran en la Tabla 3.

2.2.7. Propiedades de un sistema de inventarios

A continuación se detallan los componentes principales de un sistema de inventarios.

2.2.7.1. Propiedades del horizonte de planificación

2.2.7.1.1. Horizonte de lanificación

Se define el horizonte de planificación como el lapso de tiempo desde el momento actual, para el cual el gerente necesita diseñar una política de inventarios.

2.2.7.2. Propiedades de la demanda

2.2.7.2.1. De inición de demanda

La demanda es el componente más importante de un sistema de inventarios. Representa el flujo de inventario que sale del sistema. Según el tipo de producto, la demanda puede ser independiente o dependiente (Collier, 2009, pág. 487).

2.2.7.2.2. Demanda independiente

Es la demanda de un producto que no depende de la demanda de otros. Esta es la demanda de productos terminados, debe ser pronosticada y generalmente se relaciona directamente con la demanda del cliente.

2.2.7.2.3. Demanda de endiente

Es la demanda de un producto que depende de la demanda de otros. Esta es la demanda de partes y sub-ensambles de un producto terminado y se puede conocer si se conoce la demanda del producto terminado, por lo que no es necesario pronosticarla. Por ejemplo, la demanda de borradores para cierto lápiz, es dependiente de la demanda del lápiz donde se pondrá el borrador.

2.2.7.2.4. Serie de tiem o de la demanda

En el problema de inventarios, se supone que el tiempo se divide en una cantidad entera de intervalos llamados periodos y cuya longitud es especificada (por ejemplo, periodos de un minuto, una hora, un día o una semana).

Llámese Xi a la variable demanda ocurrida en el i-ésimo periodo. Las dimensiones de Xi se muestran en la ecuación (1).Al conjunto de todos los Xi sucesivos se le denomina serie de tiempo de la demanda. Si el valor de Xi se

Ecuación	Núm.
$[X_i]$ = unidad de cantidad	(1)
$X_{T,m} = \sum_{i=m}^{r+T-1} X_i$	(2)
$D_T E[X_{T,m}] = T \cdot E[X_i] = T \cdot D$	(3)
$\sigma_T^2 Var(X_{T.m}) = T \cdot Var(X_i) = T \cdot \sigma^2$	(4)

Fuente: Adaptación del autor (2014)

conoce para todo periodo i, se dice que la serie de tiempo es determinística, si no se conoce se dice que la demanda es estocástica.

Si la serie de tiempo es estocástica, y el valor esperado de Xi es constante en el tiempo, se dice que la serie es estacionaria, en caso contrario la serie es dinámica. Además, si la varianza de Xi es la misma para todo i, se dice que la serie es homocedastica; en caso contrario la serie es heterocedástica.

2.2.7.2.5. Demanda total durante varios periodos

Sea $X_{T,m}$ la demanda total durante T periodos de tiempo empezando con el periodo m. Entonces $X_{T,m}$ tiene se expresa en la ecuación (2) como la suma de los Xi.

2.2.7.2.6. Suruesto de normalidad

El supuesto de normalidad consiste en suponer que la distribución de probabilidad de todos los *Xi* es normal y es la misma para toda *i*. Como se explica a continuación, este supuesto facilita el análisis de la demanda total durante varios periodos.

2.2.7.2.7. Calculo de la distribución de la demanda total

Sean D y σ^2 el valor esperado y la varianza, respectivamente, de cualquier Xi. Entonces la distribución de cualquier $X_{T,m}$, también es normal, con media y varianza dadas por las ecuaciones (3) y (4).

Como la distribución de $X_{T,m}$ tampoco depende del periodo inicial m, se denota esta demanda como X_T , que es la demanda durante cualquier lapso de T periodos. Bajo este supuesto, también se puede obtener la demanda en intervalos menores que un periodo, simplemente multiplicando la media y la varianza por la fracción que representa el intervalo deseado respecto al periodo (por ejemplo medio día o un cuarto de día).

A pesar de ser restrictivo, este supuesto es útil para derivar analíticamente buenas políticas. De ahora en adelante, se hará referencia a X_T como la demanda durante T periodos y no como la demanda del T-ésimo periodo.

2.2.7.3. Propiedades del inventario

En seguida se detallan las propiedades del inventario que son: la cantidad de productos a analizar, y el tiempo de caducidad.

2.2.7.3.1. Cantidad de productos a analizar

Cuando los productos presentan alguna interacción entre sí, como cuando comparten el transporte o en caso de demanda dependiente, deben analizarse conjuntamente.

2.2.7.3.2. Tiempo de caducidad

Se refiere al límite de tiempo en el cual el inventario puede venderse al cliente. Esto suele aplicar a muchos productos del sector alimentos y a buena parte de los del sector higiene. También aplica para algunos productos tecnológicos, que pueden entrar en obsolescencia y perder valor.

2.2.7.4. Propiedades de la reposición

La reposición es el flujo de inventario que entra al sistema. Las propiedades de la reposición se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Propiedades de la reposición

Propiedad	Descripción
Cantidad y capacidad de proveedores	Si la cantidad y/o la capacidad de los proveedores son limitadas, se crean colas en las que un lote espera a que se desocupe el proveedor para ser fabricado.
Cantidad y capacidad de transportes	Si la cantidad y/o la capacidad de los transportes son limitadas, se crean colas en las que un lote espera a exista un transporte libre.
Tiempo entre pedidos (t)	Es el lapso de tiempo entre pedidos consecutivos al proveedor. Se denota como ty tiene dimensiones de unidades de tiempo.
Tiempo entre decisiones de pedidos (tdp)	Es el lapso de tiempo entre decisiones de pedir o no pedir. Se denota tdp.
Tiempo entre revisiones de inventario (tr)	Es el lapso de tiempo entre revisiones del nivel de inventario. Se denota tr.
Tiempo entre llegadas de pedidos (tlp)	Es el lapso de tiempo entre la llegada de un pedido y la llegada del siguiente. Estos cuatro tiempos no son lo mismo, aunque algunos pueden coincidir. Se denota típ.
Tamaño de pedido (Q)	Representa la cantidad de unidades de cantidad en cada pedido. Se denota como Q.
Agregación de pedidos	Se refiere a aquellos casos en los que varios productos se pueden pedir a la vez, con lo cual ciertas partes del costo fijo de pedido (como el de transporte) se pueden distribuir entre varios productos, dando posibilidad a reducciones del costo total de pedir.
Patrón de reposición (D)	En un sistema de inventario, la reposición puede realizarse de forma inmediata (un lote llega completo de una vez) o de forma progresiva (el lote llega por partes durante cierto tiempo).
Tiempo de demora	La demora total, es el tiempo que transcurre entre la detección de la necesidad de reponer inventario, y la recepción de la orden. La demora depende de trámites internos de la empresa, de los requisitos legales, del proveedor, del transporte, entre muchos otros factores. La demora puede ser determinística si siempre es conocida, o estocástica si no es así (en este caso, debería describirse mediante alguna distribución de probabilidad).
Frecuencia de decisión	Las decisiones sobre ordenar pueden hacerse de forma continua (monitoreo de inventario constante) o periódica (monitoreo de inventario cada cierto tiempo)

Fuente: Adaptación del autor (2014)

2.2.7.5. Propiedades de los costos

2.2.7.5.1. Cantidades ue in lu en en los costos

El costo total durante cierto tiempo, se ve influenciado por tres cantidades: el inventario que se mantiene durante ese tiempo, los faltantes que ocurren durante ese tiempo y la cantidad y el tamaño de los pedidos (o reposiciones) hechos durante ese tiempo.

A continuación se explica cómo calcular cada costo. Por simplicidad, se trabaja con un ciclo de operación. Se define un ciclo de la siguiente forma.

2.2.7.5.2. Ciclo

Se considera un ciclo como el lapso de tiempo entre la recepción de un pedido y la recepción del siguiente (Nahmias, 2007, pág. 252).

2.2.7.5.3. Costo de pedido

Se define como el costo total de hacer un pedido. Este costo posee dos componentes, una que varía con el tamaño del pedido y otra que no depende de este último.

2.2.7.5.4. Costo variable de pedido

Es la parte del costo de cada pedido que depende la cantidad de unidades pedida. Para cada ciclo, se puede expresar como el producto del tamaño de pedido de ese ciclo Q y el costo de cada unidad pedida (o costo unitario) C, como en la ecuación (5) (ver Tabla 8).Las dimensiones se muestran en las ecuaciones (6) y (7).

El costo unitario puede ser constante o variar con el tamaño de la orden. Este último caso ocurre, por ejemplo, cuando el proveedor ofrece descuentos según la cantidad que se ordene.

2.2.7.5.5. Costo fin de pedido

Se define como la parte del costo de cada pedido que no depende del tamaño de pedido, por lo que se considera una constante para cada ciclo y se denota K en la ecuación (8). Sus dimensiones se muestran en la ecuación (9). Debe ser estimado por el departamento de contabilidad.

2.2.7.5.6. Costo de mantener inventario

Es el costo de mantener unidades en inventario durante cierto tiempo. Es una combinación del costo de capital, el costo de obsolescencia, el costo de espacio y manejo, y el costo de servicios de inventario. Según Ballou (2004), estos se definen como en la Tabla 6. El porcentaje relativo de estos elementos, sobre el costo de mantener inventario se muestra en la Tabla 7.

Tabla 6: Componentes del costo de mantener inventario

Componente	Descripción	
Costo de capital	Es el más intangible y subjetivo de todos los elementos del costo de mantener. Muchas empresas usan la tasa de retorno promedio de las inversiones de la compañía.	
Control 1		
Costo de	Comprende los costos relacionados al deterioro, perdida, daños u obsolescencia.	
obsolescencia/depreciación		
Costo de espacio y manejo	Son cargos por el uso de un volumen del edificio donde se guarda el inventario.	
Costo de servicios de	Comprende seguros e impuestos, dado que estos dependen en gran medida de la	
inventario	cantidad de inventario guardada. Sin embargo, este es la fracción más pequeña del costo	
	total de manejo.	

Fuente: Fuente: Ballou R (2004), Logística, Administración de la cadena de suministro (pág. 339).

El costo por unidad mantenida durante una unidad de tiempo se puede expresar según la ecuación (10). H es el costo por unidad almacenada por unidad de tiempo, Ces el costo unitario y h es la tasa tal que multiplicado por C, da el valor de H. Las dimensiones están en las ecuaciones (11) y (12). El costo de mantener por ciclo se muestra en la ecuación (13).

2.2.7.5.7. Costo de altantes

Se define como el costo en que se incurre cuando la demanda excede al inventario

disponible para la venta. Para obtener el total de este costo por ciclo, se multiplica la cantidad esperada de faltantes del ciclo por el costo unitario de faltantes (estimado por el departamento de contabilidad o finanzas), como en la ecuación (14) (ver Tabla 9), donde p es costo por unidad faltante y ESC son los faltantes esperados por ciclo.

Tabla 7: Porcentajes relativos de en el costo de

Elemento de costo Porcentaje	
Elemento de costo	Porcentaje
	relativo
Costo de capital	82.00
Obsolescencia y	14.00
depreciación física	
Almacenamiento y	3.25
manejo	
Seguros	0.50
Impuestos	0.75
TOTAL	1.00 o 100%

Fuente: Ballou R (2004), Logística, Administración de la cadena de suministro (pág. 339).

Sus dimensiones están en las ecuaciones (15) y (16). Dependiendo del sistema, el costo unitario p tiene dos modalidades (Ballou, 2004): costo por pérdida de ventas y costo por pedido pendiente.

2.2.7.5.11. Costo unitario de altantes versus nivel de servicio cíclico y tasa de surtido

En caso de que no se especifique el costo unitario de faltantes, se puede especificar uno de dos parámetros: el nivel de servicio de ciclo (llamado csl) o la tasa de surtido de demanda (llamada fr). A continuación se detalla cada uno.

2.2.7.5.12. Nivel de servicio

Se define como la probabilidad de que la demanda durante un ciclo no exceda el inventario disponible. Se expresa como en la ecuación (18).

2.2.7.5.13. Tasa de surtido

Se define como el porcentaje de demanda que se satisface en cada ciclo y se expresa en la ecuación (19). En el denominador se utiliza Q porque el valor esperado de la demanda durante un ciclo de duración t es por definición el valor esperado del tamaño de lote en ese ciclo (Nahmias, 2007).

2.2.7.5.14. Costo total por ciclo

Por ciclo, el costo total esperado se expresa en la ecuación (20).

2.2.7.6. Propiedades de las restricciones

A continuación se exponen las restricciones que el gerente puede incorporar al modelo.

2.2.7.6.1. Restricciones de unidades

Ocurre cuando algunas variables solo pueden tomar ciertos valores. Por ejemplo, la demanda podría tomar solo valores de diez en diez (0, 10, 20, 30, y así sucesivamente), o valores en ciertos rangos.

2.2.7.6.2. Restricciones de demanda

Las restricciones de la demanda son la acumulación de faltantes, la demanda negativa y las estructuras de demanda independiente. Las mismas se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10: Restricciones de demanda.

Restricciones	Función	
Acumulación de faltantes	Esta ocurre cuando los faltantes se pueden acumular y satisfacer en un momento posterior a cuando ocurre la demanda.	
Demanda negativa	Este ocurre cuando los clientes hacen devoluciones.	
Estructuras de demanda dependiente	te Cuando la demanda de un periodo depende de la demanda y el inventario de anterior.	

Fuente: Naddor (1996), Inventory Systems. (págs. 41,42).

2.2.7.6.3. Restricciones de reposición

Algunas restricciones asociadas a la reposición están en la Tabla 11.

2.2.7.6.4. Restricciones de espacio

Se presenta cuando el nivel de inventario no puede sobrepasar cierto límite.

2.2.7.6.5. Restricciones de costo

Indican las componentes presentes en el costo total. Por ejemplo, si los faltantes no se permiten, entonces el costo de faltantes no entra en la minimización del costo total. Esto se puede indicar dándole un valor de cercano a Tabla 11: Restricciones de reposición.

Restricciones	Función
Planificación y revisión	Ocurre cuando de los periodos de revisión no pueden cambiarse.
Nivel de inventario	Se presenta cuando el nivel de inventario al inicio de algún ciclo debe ser fijo. Esta restricción suele derivarse de especificar niveles de servicio y tasas de surtido en sistemas de revisión periódica.
Política	Se presenta cuando el gerente decide utilizar solamente ciertas políticas de inventario. En ese caso, la solución óptima sólo debe contemplar estas políticas.

Fuente: Naddor (1996), Inventory Systems. (págs. 41,42).

cero al costo de unidad faltante. Esto se puede hacer para los otros coeficientes de costo.

2.2.8. Valores óptimos para políticas de revisión continua

A continuación se obtienen los valores óptimos de las variables control para una política "zq", (cuya revisión es continua). A partir de ésta política se obtienen soluciones aproximadas para las demás. Los costos se calculan como sigue.

2.2.8.1. Costo variable de pedido

Se supone que el costo de unidad pedida es constante (no aplican descuentos), con lo cual el costo variable de pedido viene dado por la ecuación (5).

2.2.8.2. Costo lijo de pedido

Este costo se encuentra en la ecuación (8).

2.2.8.3. Costo de mantener

Para un ciclo, el inventario promedio viene dado por la ecuación (21) (ver Tabla 12), donde

Q es el tamaño del lote que llega al empezar el ciclo y ss es el inventario de seguridad que se espera mantener en todo momento. Si el nivel de inventario se revisa continuamente, el inventario de seguridad esperado (ss) es la diferencia entre el punto de reorden y la demanda esperada durante la demora, como en la ecuación (22).

d C (24).

Entonces el costo esperado
de mantener por unidad de tiempo
es como en la ecuación (23). Sea t
a duración esperada de un ciclo,
entonces el costo de mantener por
ciclo se muestra en la ecuación

Tabla 12: Ecuaciones	para revisión continua.
Ecuación	

Ecuación	Núm.
Inventario promedio (por ciclo) = $\frac{Q}{2} + ss$	(21)
ss = R - DL	(22)
Costo de mantener (por unidad de tiempo) $H \cdot \left \frac{Q}{2} + R - D \cdot L \right $	(23)
Costo de mantener (por ciclo) $= H\left(\frac{Q}{2} + R - D \cdot L\right) \cdot t$	(24)
Faltantes esperados (por ciclo) $ESC(R) = E[\max(X_L - R, 0)]$ $= \int_{X=R}^{\infty} (X - R) f_X(x) dx$	(25)
Costo de faltantes (por ciclo) $= p \cdot ESC(R)$	(26)
Costo total esperado (por ciclo) = $CT(Q,R) = C \cdot Q + K + H = \left \frac{Q}{2} + R - D \cdot L \right \cdot t + p \cdot ESC$	(27)
$t = \frac{Q}{D}$	(28)
[t] = unidad de tiempo o periodos	(29)
Costo total esperado (por periodo) = $CT(Q, R) = \frac{C \cdot Q}{t} + K + H \cdot \left(\frac{Q}{2} + R - D \cdot L\right) + \frac{p \cdot ESC}{t}$	(30)

Fuente: Adaptación del autor (2014)

2.2.8.4. Costo de laltantes

Los faltantes por ciclo vienen dados por la ecuación (25), donde $X=X_{\scriptscriptstyle L}$, es la demanda durante la demora L y $f_{\chi}(x)$ es su función de densidad de probabilidad. El costo de faltantes se calcula entonces mediante la ecuación (26).

2.2.8.5. Costo total

El costo total esperado por ciclo es la suma de los tres costos ya calculados (ecuación (27)), donde t es la duración promedio de un ciclo en periodos (aquí por periodo es lo mismo que por unidad de tiempo) como se muestra en la ecuación (29).

Se divide la ecuación (27) entre *t*, para obtener el costo total esperado por periodo (ecuación (30)). La duración promedio del ciclo se calcula en la ecuación (28), y al sustituirla en la ecuación (30), se obtiene la ecuación (31) (ver Tabla 14).

2.2.8.6. Valores óptimos

Se demuestra (Nahmias, 2007) que la ecuación (31) se minimiza cuando las variables de

decisión Q y R satisfacen el sistema de ecuaciones (32) y (33), donde F(R) es la función de distribución de X_L evaluada en R (el punto de reorden). Estas ecuaciones son válidas cuando el exceso de demanda se acumula (se incurre en costo de pedidos pendientes). Si el exceso de demanda no se acumula, la ecuación (33) toma la forma de la ecuación (34) (Nahmias, 2007, pág. 255).

2.2.9. Cálculo de Q y R cuando no se especifica el costo unitario de faltantes p.

Según Nahmias (2007, pág. 257) al despejar *p* de (33) y sustituirlo en (32), se obtiene la ecuación (35) en *Q* y *R* para revisión continúa. Si el exceso de demanda se pierde, entonces la ecuación

Ecuación	Núm.
Costo total esperado (por periodo) = $CT(Q, R)$ = $C \cdot D + \frac{K \cdot D}{Q} + H \left(\frac{Q}{2} + R - D \cdot L \right) + \frac{P \cdot ESC(R) \cdot D}{Q}$	
$O = \sqrt{\frac{2D[K + pESC(R)]}{H}}$	(32)
$1 - F(R) = \frac{QH}{Dp}$	(33)
$1 - F(R^*) = \frac{QH}{QH + Dp}$	(34)
$Q = \frac{H \cdot ESC(R)}{1 - F(R)} + \sqrt{\frac{H \cdot ESC(R)}{1 - F(R)} + \frac{2DK}{H}}$	(35)
$Q = \frac{H \cdot ESC(R) \cdot F(R)}{1 - F(R)} + \sqrt{\left(\frac{H \cdot ESC(R) \cdot F(R)}{1 - F(R)}\right) + \frac{2DK}{H}}$	(36)
F(R) = CSL	(37)
$\Phi\left(\frac{R-DL}{\sigma\sqrt{L}}\right) = CSL$	(38)
$fr = 1 - \frac{ESC(R)}{Q}$	(39)
$ESC(R) = E(\max(X - R, 0))$ $= \sqrt{L}\sigma \left[\phi \left(\frac{R - DL}{\sqrt{L}\sigma} \right) - \left(\frac{R - DL}{\sqrt{L}\sigma} \right) \right] 1 - \Phi \left(\frac{R - DL}{\sqrt{L}\sigma} \right) \right]$	(40)

Fuente: Adaptación del autor (2014)

(35) toma la forma de la ecuación (36). La ecuación que falta para complementar el sistema tendrá una de dos formas, dependiendo de si se trata de una restricción de nivel de servicio o de tasa de surtido.

Para simplificar los cálculos, se definen ϕ y Φ como la función de densidad y la función de distribución de la normal estándar, respectivamente. D y σ son la media y desviación estándar de la demanda en un periodo, y L la demora total.

2.2.11.1.3. Si se especifica la tasa de surtido (fr):

La restricción adicional de los faltantes esperados depende de Z y de t, dado que en una revisión periódica (bajo supuesto de normalidad) y viene dada por la ecuación (44). Una buena aproximación se consigue con Q=EOQ y t=EOQ/D. Se introduce la ecuación (45) en la ecuación (44), luego se introduce t, y se despeja Z.

2.2.11.2. Política periodo de revisión-tamaño de lote "ta":

2.2.11.2.1. Si se especifica el costo unitario de faltantes [p]:

Los valores de Q y R se determinan con las ecuaciones (32) y (33) o (34).

2.2.11.2.2. Si se especifica el nivel de servicio cíclico (CSL) o la tasa de surtido (fr):

Tabla 15: Aproximación de valores de política.

Política	Cuándo	Cuánto
ZZ	z=R	Z=Q+R
zq	z=R	q=Q
tZ	t=Q/D	Z=Q+R
tq	t=Q/D	q=Q

Fuente: Adaptación del autor (2014).

Se procede igual que en la política "tZ" pero sin calcular Z. Las soluciones obtenidas para revisión periódica son sólo aproximaciones de la óptima.

2.2.12. Simulación

Para Shannon R (1975), la simulación es "es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el

Tabla 16: Ecuaciones para revision periodica.	
Ecuación	Núm.
$EOQ = \sqrt{\frac{2DK}{H}}$	(41)
F(Z) = CSL	(42)
$\Phi\left(\frac{Z-D(t+L)}{\sigma\sqrt{t+L}}\right) = CSL$	(43)
$fr = 1 - \frac{ESC(Z)}{Q}$	(44)
$ESC(Z,t) = E(\max(X-Z,0))$	(45)
$= \sqrt{t+L\sigma} \left[\phi \left(\frac{Z-D(t+L)}{\sqrt{t+L\sigma}} - \left(\frac{Z-D(t+L)}{\sqrt{t+L\sigma}} \right) \cdot \left(1-\Phi \left(\frac{Z-D(t+L)}{\sqrt{t+L\sigma}} \right) \right) \right]$	

Fuente: Adaptación del autor (2014)

comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las que se puede operar el sistema".

2.2.12.1. Simulación mediante eventos discretos:

Lo más importante en una simulación de eventos discretos son las variables, las entidades y los eventos. Para realizar la simulación, se hace un seguimiento de algunas variables. Hay tres tipos principales de variables: de tiempo, de conteo, y de estado.

2.2.12.2. Variable de tiempa

Se refiere al tiempo que ha transcurrido en la simulación para el sistema.

2.2.12.3. Variable de conteo

Son variables que mantienen un conteo del número de veces que ciertos eventos han ocurrido durante el tiempo transcurrido en la simulación.

2.2.12.4. Variables de estado

Son las variables que describen al sistema cualquier instante. Sus valores cambian al correr el reloj de la simulación.

2.2.12.5. Eventos

Cuando ocurre un evento, los valores de las variables anteriores se modifican o actualizan, y como salida se reúnen los datos de interés. Es decir, un evento cambia las variables de estado y de conteo.

2.2.12.6. Entidades atributos y actividades

Las entidades son objetos de interés en un sistema. Los atributos son propiedades de las entidades que pueden o no cambiar en el tiempo. Una actividad es un periodo de tiempo de duración conocida. Por ejemplo, los clientes de un banco son entidades, el saldo en la cuenta de un cliente es un atributo y la atención de un cliente es una actividad.

2.2.12.7. Replicaciones

Cada replica o replicación es una repetición de la simulación del sistema. Hacer suficientes replicaciones permite estimar el comportamiento del sistema de forma más confiable, debido a que se demuestra, que la suma y la media de una muestra de suficientes variables aleatorias idénticamente distribuidas tienden a seguir una distribución normal de probabilidad.

Esto facilita la aplicación de procedimientos estadísticos como las pruebas de hipótesis y el análisis experimental, para contrastar diferentes situaciones del sistema, y saber si la diferencia entre los valores esperados se debe a un componente sistemático o solo a la aleatoriedad.

CAPÍTULO III-MARCO METODOLÓGICO

La metodología es la base de cualquier proyecto de investigación dado que es la secuencia de pasos para construir el conocimiento científico. La metodología debe seguir una secuencia lógica, que permita alcanzar los objetivos de la investigación.

3.1. Tipo y diseño de investigación

Considerando que el objetivo general del presente estudio es *formular un modelo* de gestión de inventarios para empresas comercializadoras de bienes sujetas a demanda independiente, se puede clasificar este estudio como uno del tipo Proyecto Especial, apoyado en una investigación documental. Esto debido a que implica el desarrollo de un producto tecnológico de utilidad en la industria.

Según la Guía de Trabajo Especial de Grado de la Escuela de Ingeniería Industrial (2003):

"La modalidad Proyectos Especiales permite la elaboración de Trabajos de Grado con objetivos y enfoques novedosos o diferentes a los que caracterizan las otras modalidades. Se incluyen en esta categoría, los trabajos de creación literaria, de desarrollo de prototipos y de productos tecnológicos en general. En todos estos casos, el trabajo debe incluir la fundamentación teórica y la descripción de la metodología utilizada". (p.32)

La norma ISO 13407 define un prototipo como:

"Una representación de todo o parte de un producto o sistema que, aunque limitado de algún modo, puede utilizarse con fines de evaluación"

Tomando en cuenta lo anterior, el presente Proyecto Especial se enmarca mejor dentro del desarrollo de un prototipo. La razón es que el producto no será implementado de inmediato en un caso particular porque sólo describe una parte del sistema real. Por otra parte, en la práctica cada sistema de inventarios posee características diferentes y la complejidad de la implementación es tal que daría lugar a otros trabajos de investigación.

3.1.1. Diseño de la investigación

Para cumplir con los objetivos del proyecto, la investigación debe seguir un diseño, cuyo objeto (Sabino, 2000) es: "proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar

hechos con teorías, y su forma es la de una estrategia o plan general que determina las operaciones necesarias para hacerla". (p.91)

También se tiene que, (Hurtado, 2008): "el diseño se refiere a dónde y cuándo se recopila la información, así como la amplitud de la información a recopilar, de modo que se pueda dar respuesta a la pregunta de investigación de la forma más idónea posible"

Respecto al dónde, el diseño a seguir puede ser de dos tipos: documental y de campo. Si las fuentes son vivas y la información se recoge en su ambiente natural, el diseño es de campo. En cambio, si la información se extrae de un ambiente artificial, el diseño es de laboratorio. Por otro lado, si las fuentes no son vivas sino documentos o restos, se trata de un diseño documental. También existen diseños de fuente mixta (Hurtado 2008).

El cuándo se refiere a la perspectiva temporal. Si el diseño reconstruye hechos pasados es de tipo histórico o retrospectivo; si obtiene información de un evento actual, es contemporáneo. Si se obtienen datos del sistema mientras evoluciona en el tiempo el diseño es evolutivo; pero si se obtienen datos en un único instante de tiempo, el diseño es transeccional.

Tomando en cuenta lo anterior, la presente investigación sigue un diseño del tipo mixto porque se recolectó información en la bibliografía del tema, pero también se estudió el comportamiento del prototipo una vez diseñado en un ambiente controlado. El diseño se clasifica como contemporáneo transeccional, dado que se obtiene información actual pero se obtienen los datos en un único instante de tiempo.

3.1.2. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación puede ser de tipo cualitativo, cuantitativo o mixto. Según Hernández, Fernández y Baptista (2006), el enfoque cuantitativo: "usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías." (pág. 5)

Por otra parte, los mismos autores definen el enfoque cualitativo de la forma siguiente: "utiliza la recolección de los datos sin medición numérica, para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación." (pág. 8). En el marco de la presente investigación se adopta un enfoque mixto. Esto debido a que los sistemas de inventarios a describir, presentan variables tanto cuantitativas como cualitativas.

3.1.3. Unidades de análisis

Para poder hacer un levantamiento de información se necesitan identificar las entidades a ser analizadas. Las unidades de análisis "son los elementos que el investigador observa y luego segmenta en diferentes categorías, según diferentes criterios y a partir de una unidad concreta" (Losada, José Luis y López-Feal, Rafael, 2003). En el caso de este proyecto las unidades de análisis son las siguientes:

- Los gerentes de inventarios que harán uso del programa diseñado.
- El sistema de inventarios de las empresas comercializadoras.
- Las variables que entran en juego la gran mayoría de sistemas de inventarios.
- Los objetivos de la gestión del sistema de inventarios.
- Las restricciones que aplican en sistemas de inventarios.
- Los algoritmos para el diseño de políticas de inventario.

3.2. Técnicas y herramientas utilizadas

Para recolectar información se entrevistó a consultores de ingeniería de la UCAB en el área de gestión de inventarios. Las entrevistas se realizaron en la modalidad de entrevista no estructurada, que según Arias F (2006), "más que un simple interrogatorio es una técnica basada en un dialogo o conversación cara a cara, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador puede obtener la información requerida" (p.73)

3.2.1. Diagrama de flujo

Los símbolos utilizados han sido normalizados por el Instituto Norteamericano de Normalización (ANSI)." Los símbolos utilizados en el presente trabajo se muestran en la Tabla 17.

3.2.2. Hojas de cálculo de MS Excel

Las hojas de cálculo permiten construir interfaces sencillas para los usuarios de ciertos programas. Se utilizan ampliamente para compactar datos de entrada como tablas.

Tabla 17: Símbolos de diagrama de flujo.

Símbolos principales	Función
	Terminal: representa el fin y el inicio de un programa.
	Entrada/Salida: cualquier introducción de datos al programa o envío de datos desde el programa.
	Proceso: cualquier operación que cambie un valor, formato o posición de la información almacenada en memoria, operaciones aritméticas, de transferencia, etc.)
\Diamond	Decisión: indica operaciones lógicas o comparaciones entre datos y el resultado de la misma determina cuál de los caminos alternos del programa se debe seguir. Normalmente tiene dos salidas pero puede tener más, según los casos.
<	Decisión múltiple: el resultado de la comparación dice que camino se seguirá.
-	Indicador de dirección o línea de flujo: indica el sentido de ejecución de las operaciones.
	Conector conexión entre dos puntos del diagrama situado en páginas diferentes.
	Llamada a subrutina: una subrutina es un módulo independiente del programa principal, que recibe una entrada procedente de dicho programa, realiza una tarea determinada y regresa, al terminar, al programa principal.

Fuente: Joyanes L (2008), Fundamentos de programación (pág. 72).

3.2.3. Programación estructurada

La programación estructurada presenta las siguientes características (López, Jeder y Vega, 2009):

- El programa completo se diseña en módulos
- Los módulos se diseñan con metodología descendente (partiendo de lo más general y descendiendo hacia lo más particular).
- Cada módulo se codifica utilizando las tres estructuras de control básicas (secuenciales, selectivas y repetitivas, con ausencia total de sentencias GOTO).

3.2.4. Etapas para desarrollo de software

Para el presente proyecto, se utilizan las siguientes fases para resolver un problema con la computadora (Joyanes 2008, págs. 46-54).

3.2.4.1. Análisis del problema

Esta es la primera fase para resolver un problema. Aquí se define qué es lo que hará el programa y el resultado o solución deseada. En esta fase se deben responder las siguientes preguntas.

- ¿Qué entradas se requieren? (tipo de datos con los cuales se trabaja y cantidad)
- ¿Cuál es la salida deseada? (tipo de datos de los resultados y cantidad)
- ¿Qué método produce la salida deseada?
- Requisitos o requerimientos adicionales y restricciones a la solución.

3.2.4.2. Diseño del algoritmo

En esta etapa se determina cómo el programa hace lo que hace. Se siguen los siguientes pasos.

- Diseño descendente: La resolución del problema se basa en que un problema complejo se divide en otros de nivel aún más bajo, hasta que se tiene la solución en computadora. Este proceso se denomina diseño descendente o modular.
- Refinamiento sucesivo: Al dividir los problemas, sus pasos se describen con más detalle, lo que se conoce como refinamiento sucesivo.
- Representación del algoritmo: Tras el diseño descendente y el refinamiento sucesivo, hay que representar el algoritmo con una herramienta de programación: diagrama de flujo, seudocódigo.

3.2.4.3. Codificación del programa

Es la escritura en un lenguaje de programación de la representación del algoritmo desarrollada en las etapas anteriores.

3.2.4.4. Ejecución

En el caso de este proyecto, al utilizar el entorno de desarrollo integrado RStudio, se puede escribir el código fuente en su interfaz gráfica (o leerlo de un archivo externo) y RStudio ejecuta directamente el código introducido. El programador sólo debe introducir el código fuente y presionar el botón ejecutar.

3.2.4.5. Verificación y depuración del programa

La verificación es ejecutar el programa con muchos tipos de datos de prueba que determinarán si el programa tiene o no errores. Para verificar se debe desarrollar una amplia gama de datos de prueba: valores normales, valores extremos y valores que comprueben aspectos especiales.

La depuración es el proceso de encontrar los errores del programa y corregir o eliminar dichos errores.

3.2.4.6. Documentación y mantenimiento

La documentación de un problema son descripciones de los pasos para resolverlo. Un programa mal documentado es difícil de leer, difícil de depurar y casi imposible de mantener y modificar (la documentación es vital para hacer posteriores cambios al programa).

3.2.5. Programación en lenguaje R

El lenguaje R se utiliza ampliamente en la actualidad para analizar datos, hacer cálculos matemáticos muy voluminosos y graficar resultados. Su sintaxis se basa en el uso de matrices y funciones predeterminadas y personalizables por el usuario. Esto lo hace ideal para usar y construir programas de investigación operativa de manera eficiente y rápida.

3.2.6. Entorno de desarrollo integrado RStudio

RStudio permite al usuario crear y depurar programas en lenguaje R de forma muy sencilla y completa, así como organizar entradas y salidas del programa en formatos convenientes de hojas de cálculo.

3.2.7. Datos de prueba

En el caso de este proyecto, se utilizaron los tipos de datos mencionados en López, Jeder y Vega (2009); es decir: valores normales, valores extremos y valores con cuyo resultado sea conocido. Estos son datos tales que permiten comprobar los aspectos especiales del programa. Se utilizan datos tanto reales como artificiales para realizar este proceso.

3.3. Fases del estudio

Se definen las fases de la elaboración del presente estudio, como en la Tabla 18.

Tabla 18: Fases del estudio

Fase	Nombre	Descripción	
1	Revisión y análisis de documentos	Indagar e interpretar sobre el estado del arte de los sistemas de gestión de inventarios para comercializadoras, con el objeto de desarrollar el producto en un marco actualizado y coherente.	
.11	Entrevista a consultores	Entrevistar a consultores en el área de gestión de inventarios para conocer las necesidades que generalmente surgen en las empresas.	
III	Modelado conceptual del sistema de inventarios	Construir un modelo conceptual con las características más relevantes del sistema de inventarios a modelar.	
ΙΛ	Modelado matemático del sistema de inventarios	Construir un modelo que integre las variables y relaciones identificadas en el modelado conceptual del sistema, junto con los objetivos que persiguen los gerentes de inventarios.	
V.	Diseño de algoritmos de procesos de gestión de inventario	Crear una metodología de gestión de inventario, que se adapte al modelo matemático y expresarla en forma de un algoritmo.	
VI	Creación de una aplicación informática que haga uso del modelo diseñado	Construir un programa que integre los procesos diseñados en la Fase V y que permita realizar pruebas y cambios.	
VII	Analizar el desempeño del modelo programado en la aplicación	Analizar el comportamiento del modelo y los algoritmos de procesos de gestión integrados en la aplicación.	

Fuente: Autor (2014)

3.4. Variables en estudio

Las variables en estudio, relacionadas a los objetivos se muestran en la Tabla 19. La operacionalización de las variables se muestra en la Tabla 20.

Tabla 19: Variables y objetivos

Objetivos específicos	Variables	
Caracterizar sistemas de inventarios de empresas comercializadoras sujetas a demanda independiente.	Sistemas de inventarios	
Identificar las variables de los sistemas de gestión analizados.	Variables de sistema de gestión	
Analizar las relaciones que existen entre las variables identificadas	Relaciones entre variables	
Diseñar procesos para la gestión de inventarios, haciendo uso de herramientas de investigación operativa.	Procesos de gestión Herramientas de investigación operativa	
Desarrollar una aplicación informática que automatice el tratamiento de los procesos diseñados.	Aplicación informática	
Comprobar el funcionamiento de la aplicación desarrollada	Funcionamiento	

Fuente: Autor (2014)

3.5. Operacionalización de variables

Tabla 20: Operacionalización de variables.

Variable	Dimensión	Indicadores	Fuentes	Técnicas e instrumentos	Producto
Sistemas de inventarios	Pronostico de la demanda Tiempos muertos Política de proveedores Control de inventarios Registro de Costos	Pronostico de demanda: Empírico vs analítico. Tiempos muertos: Rango típico Política de proveedores: priorización. Control de inventarios: revisión periódica contra continua, planificación de ordenes Registro de costos: de mantener, de pedir y de faltantes.	Documentación de algunas empresas y encuestas. Bibliografía sobre inventarios. Consultores especializados	Entrevistas no estructuradas Revisión bibliográfica	Descripción de los sistemas de inventarios de comercializadoras.
Variables de sistemas de gestión	Parámetros del sistema (determinísticos y probabilísticos) Variables de decisión	Parámetros: Demanda del cliente, Tiempo muerto del proveedor Costos y Nivel de servicio Decisión: Cantidad a pedir, Punto de reorden.	Documentación de algunas empresas Bibliografía sobre teoría de inventarios Consultores especializados	Entrevistas no estructuradas Revisión bibliográfica	Lista de variables, descripción, impacto e interpretaciones.
Relaciones entre las variables	Objetivos Restricciones	Costo esperado total Excedentes esperados Faltantes esperados Tiempo de revisión	Documentación de algunas empresas Bibliografía sobre teoría de inventarios Consultores especializados	Entrevistas no estructuradas Revisión bibliográfica	Lista de relaciones, descripción, impacto e interpretaciones.
Procesos de gestión	Modelado del sistema Diseño de algoritmos de Optimización y heurísticas Análisis de sensibilidad	Métodos de simulación Métodos de pronóstico de demanda y tiempos muertos Métodos de minimización del costo Simulación de políticas de inventario	Documentación de algunas empresas Bibliografía sobre teoría de inventarios Consultores especializados	Entrevistas no estructuradas Revisión bibliográfica Diagramas de flujo Hojas de cálculo de Excel	Algoritmos de los procesos de gestión
Aplicación informática	Análisis del problema Diseño del programa Codificación Ejecución	Diseño descendente Seudocódigo Diagramas de flujo Métodos numéricos Base de datos Programa en lenguaje R	Bibliografía sobre proyectos similares	Revisión bibliográfica Diagramas de flujo Hojas de cálculo de Excel Programación estructurada Diseño modular Programación en lenguaje R RStudio	Prototipo del programa en lenguaje R para pruebas (baja fidelidad)
Funcionamiento	Verificación y depuración Documentación	Salidas correctas Tiempo de cómputo Complejidad del código Estabilidad Desempeño ante casos extremos	Bibliografía sobre proyectos similares	Datos de prueba Pruebas con depurador Pruebas de caja negra RStudio	Prototipo del programa en lenguaje R para aplicación (mayor fidelidad)

Fuente: Autor (2014)

CAPÍTULO IV-DESARROLLO

En el presente capítulo se detallan las fases que integran el desarrollo del presente proyecto de investigación. De tal forma, se deriva en la propuesta de un modelo de gestión de inventarios en comercializadoras sujetas a demanda independiente.

4.1. Fase I: Revisión bibliográfica

La primera fase de esta investigación comprende la obtención de información bibliográfica, con respecto a los sistemas de gestión de inventarios para comercializadoras en Venezuela. Fueron revisados distintos libros de texto, libros electrónicos, publicaciones científicas profesionales, trabajos especiales de grado, entre otros.

4.1.1. Situación actual en Venezuela de la gestión de inventarios para detallistas.

Se presenta un breve resumen de la situación actual en Venezuela de las políticas de gestión de inventarios, según una encuesta realizada por Alonso et al (2008). Con base en esta encuesta, se resumen a continuación los resultados que influencian el modelo de gestión diseñado en este trabajo.

4.1.1.1. Respecto a los clientes

4.1.1.1.1. La demanda

- La mayoría de empresas dicen usar métodos formales de pronóstico, y usan las herramientas del ERP, sin embargo, parecen usar más bien métodos empíricos.
- Otras usan experiencias pasadas y comportamiento de productos similares.

4.1.1.2. Respecto a los proveedores

4.1.1.2.1. Las demoras

- Las demoras son estocásticas y oscilan entre uno y quince días.
- El porcentaje de órdenes cumplidas por un proveedor va de un 40 a un 100%.
- Los inventarios rotan en el caso más rápido diariamente, y en el caso más lento semanalmente.
- La demora que desearían tener las empresas es de un día para el sector alimentos y una semana o menos para el sector higiene.

 Se conoce el tiempo de reposición pero no la tasa de reposición para entregas parciales.

4.1.1.2.2. Relaciones con el proveedor

- Algunas empresas, dicen tener acuerdos con sus proveedores.
- La mitad de las empresas tiene un orden de prioridad al momento de seleccionar un proveedor.

4.1.1.3. Respecto a los inventarios

4.1.1.3.1. Tipos de producto

- Los productos nacionales suelen ser más económicos que los importados, y los primeros presentan alta escasez mientras que los segundos presentan mayor incertidumbre en la demora.
- Los productos de bajo margen de ganancia rotan rápido, y los de alto margen rotan lento.

4.1.1.3.2. Políticas de revisión

- Las revisiones de inventario suelen ser periódicas.
- Es común usar un sistema informático para monitorear el nivel de inventario.
- No se usa un método formal para planificar las órdenes de compra, es decir, no se sabe cuándo pedir.
- Para saber cuánto pedir, se usan métodos informales basados en el histórico de ventas, comportamiento del mercado, rotación de inventarios, estacionalidad de productos, convenios con proveedores, promociones y ofertas.
- El nivel medio de inventario que se mantiene es de 1 a 7 días para el sector alimentos y de 15 a 30 días para el sector higiene.
- Para calcular los tiempos y lotes de reposición, muchas empresas usan el ERP sin preocuparse de si los resultados son lógicos, o usan estimaciones informales basadas en ventas históricas.
- Muchas empresas mantienen inventario de seguridad, pero lo calculan empíricamente.

La política de inventario depende de si el producto es nacional o importado (es
decir, depende de la si la demora es muy variable, o si hay escasez, cambia la
política).

4.1.1.3.3. Nivel de servicio

- La mayoría de las empresas incurre en faltantes.
- El número de días con faltantes al año va de 10 a 180.
- Existe entre un 5 y un 40% de faltantes al mes.

4.1.1.3.4. Costos

- Las empresas desconocen el impacto que tiene el nivel de inventario respecto a un aumento en la paridad del dólar.
- Las empresas desconocen el impacto en el costo de mantener inventario (principalmente el costo de capital) del nivel de inventario.
- Las empresas desconocen el costo de almacenamiento y manejo de materiales.
 Sin embargo, intuyen que son elevados.

4.2. Fase II: Entrevista a consultores en el área

Se entrevistó a consultores de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) en el área de inventarios, en la Tabla 21 se muestran los puntos resaltantes.

Tabla 21! Puntos vitales de entrevista a consultores de inventarios.

Necesidad	Descripción	
Proyección de las decisiones, antes de implementarlas	Es importante contar con un mecanismo que permita tener una idea de que ocum rá al usar ciertas políticas, para ajustarlas antes de llevarlas a la realidad.	
Decisiones vs Pronóstico	Algunos gerentes de inventarios se quejan de que ciertos sistemas no toman en cuenta variabilidad de forma adecuada, generando simplemente pronósticos refinados de la demanda y no planes óptimos. Desearían contar con una herramienta más orientada a decisión que al pronóstico.	
Nivel de detalle	Es importante integrar cierto nivel de detalle de la logistica dentro de las decisiones, per debe hacer énfasis en los aspectos fundamentales.	
Cálculos rápidos pero acertados	Cuando la rotación de inventario es alta, se necesitan herramientas computarizadas q agilicen el trabajo, no que lo hagan más pesado. Una herramienta que tome en cuenta aspectos fundamentales pero que sea rápida es muy valiosa.	
Diagnósticos de situación actual	Sería bueno contar con herramientas que hagan un diagnóstico de la situación actual, y ayude a visualizar los problemas con mayor claridad.	
Validez de los supuestos de una política	tos Al usar una fórmula analítica se hacen ciertos supuestos. Sería bueno contar con herramientas que permitan evaluar cómo se comporta una fórmula teórica cuando no cumplen los supuestos de su deducción.	
Sensibilidad a cambios en los parámetros		

4.3. Fase III: Modelado conceptual del sistema de inventarios

El modelo desarrollado en este trabajo enfoca la atención en sistemas que cumplen una demanda independiente (es decir, que no depende de la demanda de otros productos, y se relaciona directamente con el cliente). Una analogía del modelo a construir es la siguiente. Sea un tanque donde el nivel de agua debe satisfacer la demanda aguas abajo, sujeto a la demora con la cual llega el agua cada vez que se abre la llave. La demora tiene dos componentes, la de la tubería como tal y la del proveedor aguas arriba.

El objetivo del tanque es desacoplar las fluctuaciones de la demanda aguas abajo, de las fluctuaciones del suministro aguas arriba, mientras se minimiza el costo de operación. Es decir,

se tiene que abrir y cerrar la llave de forma tal que el agua siempre fluya y cumpla con la demanda aguas abajo. Esto se visualiza en la Figura 2.

Si se aplica esta analogía, el agua es el inventario, el proveedor es el suministro aguas arriba, los clientes son el sistema aguas abajo y la forma de abrir y cerrar la llave es la política aplicada. La demora total (tiempo que tarda el inventario en llegar desde que se pide) depende en parte de la

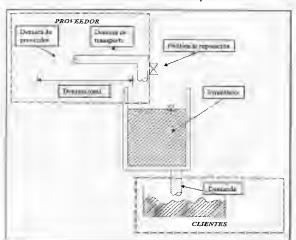


Figura 2: Analogía del sistema de inventarios modelado. Fuente: Autor (2014)

tubería superior (demoras varias asociadas con el transporte o canal de distribución) y en parte del proveedor aguas arriba (demoras varias asociadas al proveedor).

4.3.1. Propiedades requeridas del sistema real

Se establecen las propiedades que debe tener el sistema real. Esta lista refleja características de la mayoría de los sistemas descritos en las Fases I y II. El sistema debe cumplir con estos supuestos para que el modelo pueda ser aplicado con efectividad. Las propiedades se resumen en las tablas 22, 23, 24 y 25.

Tabla 22: Propiedades del sistema de inventarios a modelar

Componente	Propiedades	Justificación
Horizonte de planificación	Se recomienda usar el programa sólo para planificaciones a corto plazo (es decir, un tiempo subjetivo en el cual el gerente estima que los parámetros del sistema, como los coeficientes de costos y la distribución de probabilidad de la demanda y las demoras, no cambian de forma sustancial). Por otra parte, el mínimo horizonte de análisis del problema se supone igual a un día; sin embargo, el modelo puede adaptarse a unidades de tiempo mayores (semanas, meses, etcétera), dependiendo del horizonte de planificación definido según las consideraciones del gerente.	Esto es debido a que no se utiliza un método de pronóstico que incluya el componente estacional de la demanda.
Serie de tiempo de la demanda	Se supone una serie estocástica, pero no necesariamente estacionaria y homocedástica, debido a que el programa se actualiza con cada día que pasa.	Según la Fase II, no se conoce muchos sobre la demanda. Sin embargo, abundan los faltantes, lo cual sugiere (si no se tienen malas políticas) que existen demoras y/o demandas con un fuerte componente aleatorio.
Supuesto de normalidad de la demanda	Este supuesto se usa para calcular políticas recomendadas, pero no es un requisito para simular una política.	
Cantidad de productos	El sistema contiene solamente un producto. Si se dispone de computadores más potentes, se puede ampliar el modelo a más productos, tomando como base la lógica de un producto del presente modelo.	La lógica y la capacidad computacional requerida para tratar modelos multi-producto son de mayor nivel, y no se aborda debido a la limitante de tiempo.
Tipos de inventario	Se consideran los tipos de inventario siguientes: inventario en proveedor, inventario en tránsito, inventario cíclico, inventario de seguridad inventario faltante e inventario caduco.	El único tipo de inventario no considerado es el estacional, debido a que el modelo está diseñado para productos de alta y media rotación, en los cuales la componente estacional se incorpora en los promedios móviles automáticamente, sin necesidad de usar métodos estacionales

Tabla 23: Propiedades del sistema de inventarios a modelar. Continuación.

Componente	Propiedades	Justificación
Cantidad y capacidad de proveedor	Se considera disponible solo un proveedor para el producto, lo que quiere decir que existe solo un tipo de demora de proveedor posible y el gerente no puede controlarla. También se considera que el proveedor puede fabricar cualquier tamaño de lote o sólo cierta cantidad (en cuyo caso, el gerente debe especificarlo).	Suponer más de un proveedor no es difícil, pero se complica la lógica del programa, el cual requiere el detalle de los proveedores de la empresa.
Cantidad y capacidad de transportes	Se supone que existen transportes suficientes para cumplir todos los envíos del proveedor. Si existen restricciones de capacidad de transporte, el tamaño de lote recomendado por el programa podría exceder esta restricción, en cuyo caso el gerente debe introducir el valor máximo del tamaño de lote, y probar manualmente varios valores de punto de reorden o tiempo entre revisiones.	Este supuesto es válido en ciertos casos, donde se puede transportar todo lo que se pida en el momento en que el proveedor lo tiene listo. En el caso de comercializadoras de bienes, muchos productos se pueden enviar por varios servicios de transporte, con lo cual el transporte no tiene limitación en cantidad disponible.
Tiempo entre pedidos, entre decisiones de pedido y entre revisiones de inventario.	Se supone que el tiempo entre decisiones de pedir es igual al tiempo entre revisiones, además, sólo se puede decidir durante una revisión. De ahora en adelante, hablar de revisión de inventario será hablar del momento en que se revisa el inventario, se decide si pedir y se hace el pedido, todo de una vez. Por tanto, los tres tiempos se denominarán tiempo entre revisiones, el cual representa los días entre dos revisiones consecutivas. Dado que el mínimo horizonte de análisis es de un día, el tiempo entre revisiones no podrá ser menor a un día. Para este modelo, si la revisión es diaria se dice que es continua, dado que es lo más rápido que se puede hacer. Por otra parte, una revisión periódica será aquella en la que se revisa (y se pide) cada cierta cantidad de días. Por ejemplo: si t es 2 días, y se revisa al final del día 1, se volverá a revisar al final del día	En la mayoría de casos, se recomienda que estos tres tiempos sean iguales, y de no ser así, la adaptación del modelo es relativamente sencilla.
Tamaño de pedido	Si el tamaño de pedido tiene un límite (establecido por el almacén, el fabricante o el transporte), y la política recomendada lo excede, el gerente puede especificar este valor y la recomendación lo toma en cuenta.	Los tamaños de pedido sugeridos por el programa podrían exceder la capacidad del proveedor o el transporte.
Agregación de pedidos	Dado que se trata de un solo producto, no se consideran pedidos agregados.	El modelo de un solo producto, puede adaptarse posteriormente a la agregación.
Patrón de reposición	Se supone que el pedido llega todo de una vez y no por partes, es decir, que la tasa de reposición es infinita.	Para la mayoría de productos terminados y con demanda independiente, la reposición tiene esta forma.

Tabla 24: Propiedades del sistema de inventarios a modelar. Continuación.

Componente	Propiedades	Justificación
Demora total	Se considera compuesta por la demora del almacén para emitir la orden, la demora del proveedor para tenerla lista y la demora del transporte para entregar al almacén y la demora del almacén para tenerla lista en inventario. Estas demoras pueden implicar permisos legales y sanitarios, papeleo, protocolos y elección de proveedor y de transporte. Es la cantidad de días entre el final del día en que se pide una orden y el inicio del día en que se recibe. Por ejemplo, si se pide al final del día 3, la demora del proveedor es 2 días y la de transporte 1 día, el pedido llega al inicio del día 7 (los tres días 4,5 y 6 son de demora).	Se consideran estas como las demoras más importantes y comunes.
Demora de almacén para ordenar	Se supone que siempre es cero, lo cual indica que la formulación de la orden, luego de detectada la necesidad, es inmediata (no hay problemas con la burocracia del almacén y la compañía).	No suele ser demasiado grande en comparación con las otras dos demoras, sin embargo, puede incluirse mediante una adaptación simple.
Demora de proveedor	Es el tiempo que tarda el proveedor en tener lista la orden desde el momento en que se le pide. Se admite que sea estocástica.	Este componente suele ser aleatorio e importante en la demora total.
Demora de transporte	Es el tiempo que tarda un transporte en traer el pedido desde el momento en que el proveedor lo tiene listo. Se admite que sea estocástica.	Este componente suele ser importante en la demora total.
Demora de almacén para organizar el inventario	Se supone que siempre es cero, lo que indica que al llegar la orden, prácticamente se desempaca y se coloca en las estanterías de forma casi inmediata.	Al igual que la demora para ordenar, suele ser insignificante en comparación a las otras demoras.
Frecuencia de la revisión	Se permiten políticas con revisión periódica y revisión continua	Las políticas de revisión continua son fáciles de calcular analíticamente y son base para las aproximaciones de las periódicas, pero las últimas son muy utilizadas en la práctica.
Cantidades que influyen en los costos	Se consideran solo las tres cantidades del marco referencial: el inventario disponible, los faltantes y los pedidos. Así mismo, se supone que al menos dos de los tres costos se pueden manipular y sus respectivos coeficientes de costo son introducidos conocidos por el gerente.	Se adopta la definición de problema de inventarios del marco teórico.

Tabla 25: Propiedades del sistema de inventarios a modelar. Continuación.

Componente	Propiedades	Justificación
Estimación de los faltantes	Se supone que los faltantes generan ventas perdidas. Para pronosticar la demanda, el método usa la media de las ventas de los días en los que el sistema no se quedó sin inventario.	Dado que la venta se pierde, la media es una buena medida de las ventas que pudieron hacerse y no se hicieron por no tener inventario.
Costo unitario de faltantes, nivel de servicio y tasa de surtido	Se permite que el gerente fije una sola cualquiera de las tres medidas de penalización de faltantes.	No siempre se quiere usar el costo de unidad faltante, así que hay que dar flexibilidad al gerente para usar otras medidas.
Demanda negativa	Se diseña para sistemas donde la demanda siempre es negativa, es decir, donde no hay devoluciones del cliente.	Muchas empresas del sector alimentos e higiene no admiten devoluciones en Venezuela.
Dependencia de la demanda	Sólo se modelan producto sujeto a demanda independiente de otros productos del almacén.	La demanda independiente es común para las comercializadoras y la dependiente es común en manufactureras.
Restricciones de espacio	El gerente puede simular la política y obtener estadísticas del máximo nivel de inventario que implica esa política., para así cambiar su decisión	No puede almacenarse cualquier cantidad de inventario obtenida de una política recomendada.
Restricciones de política El gerente podría verse obligado a usar solo ciertos tipos de política, lo cual puede indicar al programa.		Ciertas organizaciones solo permiten algunas políticas.
Restricciones de costo	Esta se refiere a cuando un costo no es controlable y por tanto no es relevante para el análisis. En este caso, el gerente puede darle un valor de cero antes de hacer cálculos.	No siempre se pueden controlar los tres costos.

4.3.2. Dinámica del sistema

Ahora que se han especificado los supuestos globales que debe cumplir el sistema real, se puede construir un modelo de éste y su evolución en el tiempo. De ahora en adelante, se hace referencia al sistema como la versión simulada del sistema real. El siguiente modelo es tal, que aplica para los cuatro tipos de política del marco referencial.

El sistema consiste del proveedor, del transporte y de un almacén de una empresa, y el almacén comienza con cierta cantidad de inventario inicial. Cuando llega el momento de pedir (punto de reorden o tiempo de decisión) se revisa el nivel de inventario y se pide por cierta cantidad de lote (nivel de reorden o tamaño de lote) al proveedor.

Al formular la orden, se crea un registro en el inventario fuera para ese lote. El día que el lote llega y el día que caducará dependen de la demora total del pedido. El nivel de inventario toma en cuenta tanto las unidades de inventario en almacén como las unidades de inventario fuera, esto es para que las políticas de decisión continua no sigan formulando órdenes una vez que ya hay órdenes pendientes.

Una vez que llega la orden, el lote se separa y las unidades entran al inventario disponible del almacén. Si al inicio de cualquier día, las unidades de un lote han caducado, esas unidades se eliminan del inventario (se quitan del inventario inicial del día) y no se incurre en un costo de desechos.

El almacén comienza el día con un inventario inicial (sin las unidades que caducaron), que será consumido por la demanda del día. El inventario que queda al final del día será el inventario final. Los faltantes del día son el excedente de la demanda sobre el inventario inicial de ese día. Los faltantes no podrán ser compensados en un día futuro (son ventas perdidas).

Si es momento de decidir si pedir al proveedor, se revisa el inventario final del día y se formula una orden por la cantidad correspondiente a la política utilizada.

Se supone que el proveedor y el transporte no ponen los pedidos en cola, este supuesto es razonable si se tienen suficientes transportes y el proveedor cuenta con mecanismos para procesar varios pedidos a la vez. La salida de unidades del almacén por demanda sigue la regla PEPS (primero en entrar, primero en salir) según el orden en que llegaron al almacén.

4.3.3. Fronteras del sistema

En principio se considera que el sistema contiene al proveedor, al transporte y al almacén. Se puede decidir sobre cuándo ordenar al proveedor pero no cuándo llegará la orden ni la cantidad de demanda del cliente. Es decir, los factores que influyen en la demora total (la de proveedor más la de transporte) y en la demanda son externos al sistema, por lo que se consideran parte del ambiente.

4.3.4. Objetivos del sistema

La aplicación diseñada ayudará al gerente de inventarios a realizar las tareas siguientes:

- Simular el desempeño de cierta política para compararla con otras.
- Recomendar una buena política (mejor que la actual de ser posible).

Para obtener una política recomendada el sistema debe calcular su desempeño. Si el gerente sólo realiza la primera tarea, se trata de un problema de simulación. Si se realiza la segunda tarea, se trata de un problema de simulación y de optimización. Los objetivos de estos problemas se describen a continuación.

4.3.4.1. Objetivo de la simulación

En ambos casos, el objetivo de la simulación es describir el comportamiento del sistema bajo cierta política de inventarios.

4.3.4.2. Objetivo de la optimización

El objetivo de la optimización es encontrar valores de las variables control que mejoren (y de ser posible optimicen) el desempeño del sistema en términos de costos y servicio al cliente.

4.4. Fase IV: modelado matemático del sistema de inventarios

4.4.1. Tipo de sistema

Este sistema se cataloga como uno discreto, debido a que los cambios en el estado del mismo ocurren en forma discreta.

4.4.2. Variables

A continuación se agrupan las variables en los tipos usuales en una simulación de eventos discretos.

4.4.2.1. Variables control

Son las variables que se pueden cambiar en el modelo y representan las decisiones de cuándo pedir y cuánto pedir. Se muestran en la Tabla 26.

4.4.2.2. Variable tiempa de sistema

Se refiere al tiempo (simulado) que ha transcurrido en el sistema. Se denota tDia.

4.4.2.3. Variables de estado

las variables que

Variable Nombre Descripción Punto de Si el inventario al final del día es menor que reorden este valor, debe hacerse un pedido. 'tr" Si ya han pasado "tr" días desde la última Tamaño de revisión, debe hacerse un pedido. lote Nivel de Si se utiliza, significa que cada pedido debe hacerse por la misma cantidad "q". reorden Si se utiliza, significa que cada pedido debe Periodo de hacerse por la diferencia entre "Z" y el revisión. inventario actual (el que esta fuera más el que está en almacén).

Fuente: Autor (2014)

describen el sistema en cualquier momento dado. Se muestran en la Tabla 27.

4.4.2.4. Variables de conteo

Estas variables cuentan valores o eventos cada cierto tiempo y luego se reinician. Se muestran en la Tabla 28.

4.4.2.5. Variables acumuladoras

Estas variables cuentan valores o eventos cada cierto tiempo, pero a diferencia de las variables de conteo, no se reinician, se muestran en la Tabla 29.

Tabla 27: \	Variables de estado
Nombre	Descripción

Variable	Nombre	Descripción	Cambio
Inventario	invFuera	Es la cantidad	Cuando se
fuera de		de inventario	hace un
almacén		en proveedor	pedido o
		más la que	llega un
		está en	pedido.
		tránsito	
Inventario	invAlm	Es la cantidad	Cuando llega
en		de inventario	un pedid o ,
almacén		disponible en	caducan
		el almacén.	unidades, o
			se suple la
			demanda.
Nivel de	nivinv	Es la cantidad	Cuando
inventario		de inventario	cambian las
		fuera y dentro	dos
		del almacén	anteriores

Fuente: Autor (2014)

4.4.2.6. Variables generadas aleatoriamente

Las variables de la Tabla 30, son constantes o se deben generar a partir de distribución es de probabilidades o muestreos aleatorios con reposición.

4.4.2.7. Variables auxiliares

Las variables de la Tabla 31 se utilizan para actualizar variables de estado y contadores, para llevar atributos, y para facilitar ciertos cálculos.

Tabla 28: Variables de conteo.

11 1 11	No. orlean	Described for	C
Variable	Nombre	Descripción	Cambio
Contador de tiempo entre revisiones	contRev	Cuenta el número de días que han transcurrido desde la última revisión de inventario. Cuando su valor es mayor o <u>igual</u> que el tiempo entre revisiones, se revisa el inventario y se decide si pedir.	Al final de cada día, aumenta en 1 Cuando se hace un pedido, se reinicia a 0.
Días con faltante del ciclo	diasFaltCiclo	Se usar para registrar si cuantos días con faltantes ha tenido el ciclo actual	Después de suplir la demanda

Fuente: Autor (2014)

Tabla 29: Variables acumuladoras.

Variable	Nombre	Descripción	Cambio
Acumulador de demanda	acumDem	Es la demanda del sistema hasta el día actual.	Cuando se suple la dema n da del día.
Acumulador de faltantes	acumFalt	Son los faltantes del sistema hasta el día actual.	Cuando se suple la demanda del día.
Acumulador de nivel de inventario	acumNivInvDP	Es el nivel de inventario después de pedir acumulado hasta el día actual	Cuando se termina el día.
Acumulador de ciclos con faltante	acum Ciclos Falt	Son los ciclos que han tenido faltante hasta el dia actual.	Aumenta en uno cuando es la primera vez que un ciclo tiene faltantes.
Acumulador de ciclos	acumCiclos	Son los ciclos del sistema hasta el dia actual.	Aumenta en un cuando llega un pedido.
Acumulador de pedidos	acumPedidos	Es la cantidad de pedidos hechos hasta el día actual	Aumenta en uno cuando se hace un pedido.
Acumulador de unidades pedidas	acumUnidPedidas	Es la cantidad de unidades pedidas hasta el dia actual.	Aumenta por la cantidad pedida cuando se hace un pedido.
Acumulador de caducas	acumCaduc	Es la cantidad de caducas hasta el dia actual	Aumenta cuando se eliminan las caducas.

Fuente: Autor (2014)

Tabla 30: Variables aleatorias.

Variable	Nombre	Descripción	Generación	
Demanda del día	dem	Es la demanda que tiene que	Con una constante, con una distribución triangular o o un muestreo aleatorio con reposición de la data	
		suplir el almacén	histórica de ventas.	
		determinado día.		
Demora	demoraProv	Es la demora de	Con una constante, con una distribución triangular o	
de		proveedor para	con un muestreo aleatorio con reposición de la data	
proveedor		cierto pedido.	histórica.	
Demora	demoraTrans	Es la demora de	Con una constante, con una distribución triangular o	
de		transporte para	con un muestreo aleatorio con reposición de la data	
transporte		cierto pedido.	histórica.	

Tabla 31: Variables auxiliares.

Variable	Nombre	Descripción	Cambios	
Lista de listaLatesLl Rep lotes que egan llegan		Representa los números de identificación de los lotes que llegan ese día.	Al inicio del día, al llegar los lotes.	
Cantidad que llega	cantLlega	Representa la cantidad total de unidades en los lotes que llegan ese día.	Al inicio del día, al llegar los lotes.	
Cantidad que caduca	caduc	Representa la cantidad de unidades caducadas al inicio del día y que por tanto se eliminan del inventario del almacén.	Al inicio del día, luego de que llegan los lotes.	
Inventario inicial de almacén	invInicAlm	Es el valor de <i>invAlm</i> al inicio del día, después de que recibir los lotes y eliminar las caducadas. Es con esta cantidad que el almacén suple la demanda del día.	Al inicio del día, luego de eliminar las caducas y antes de suplir la demanda.	
Consumo	Consum	Es la cantidad consumida de inventario del día.	Al suplir la demanda.	
Inventario final de almacén	invFinAlm	Es el valor de <i>invAlm</i> después del consumo.	Después de suplir la demanda.	
Faltantes	falt	Es la cantidad de faltantes, es decir, el excedente de la demanda sobre el inventario inicial.	Después de suplir la demanda.	
Inventario fuera antes de pedir	invFueraA P	Es el valor de <i>invFuera</i> antes de pedir.	Después de suplir la demanda.	
Nivel de inventario antes de pedir	nivlnvAP	Es el valor de <i>nivinv</i> antes de pedir. Es la suma del inventario fuera antes de pedir y el inventario final del almacén.	Después de suplir la demanda.	
Contador de días entre revisiones	contDiasRe v	Es un contador de los días que han transcurrido desde la última revisión, es indispensable para políticas de revisión periódica.	Cuando pasa un día, aumenta er 1 si no se pide, y se reinicia a 0 s se pide.	
Verificador de pedido	sePide	Es una variable lógica que vale 0 si no se pide y 1 si se pide	Al final de cada día, si es momento de pedir, vale 1, si no vale 0.	
Inventario fuera después de pedir	invFueraD P	Es el valor de <i>invFuera</i> después de hacer el pedido (si se hace), y es el valor de <i>invFuera</i> antes de pedir más la cantidad pedida.	Después de pedir, si se pide.	
Nivel de inventario después de pedir	nivInvDP	Es el valor de <i>nivln</i> v después de hacer el pedido (si se hace), y es igual al <i>invFinAlm</i> más <i>invFueraDP</i> .	Después de pedir, si se pide.	

Fuente: Autor (2014)

4.4.3. Recursos

Si se considera que un recurso retiene una unidad por cierto tiempo y luego la libera, se pueden considerar como recursos al almacén de inventario, al proveedor y al transporte.

4.4.4. Entidades

Las entidades son las unidades de producto. Estas se crean al pedir un lote y se retienen en el proveedor hasta que se embarcan. Luego se retienen en el transporte hasta que llegan al almacén. Por último, se retienen en el almacén hasta que se demandan.

4.4.5. Eventos

A continuación se listan los eventos que pueden ocurrir durante un día y los cambios en las variables de estado que producen.

- Llegada de un lote: disminuye la variable invFuera y aumenta la variable invAlm, ambas por las unidades del lote.
- Vencimiento de unidades: disminuye la variable *invAlm* por las unidades del lote.
- Demanda de unidades: disminuye la variable invAlm por la cantidad demandada.
- Pedido de un lote: aumenta la variables invFuera por las unidades del lote.

Se supone que los eventos de cada día ocurren en el orden de la lista anterior.

4.4.6. Actividades

La Tabla 32 muestra las actividades que realizan los recursos y la duración de las mismas.

4.4.7. Atributos

Los atributos de las unidades se muestran

Actividad Duración (días) Preparación de lote por Es igual a la variable el proveedor demoraProv.

Tabla 32: Actividades y duraciones.

Transporte de lotes Es igual a la variable hasta el almacén. demoraTrans. Salida de las unidades 0 (la salida es instantánea) por demanda

Fuente: Autor (2014)

en la Tabla 33. De los atributos, el tamaño de lote y los días de pedido, de embarque, de llegada y de caducidad se calculan al momento de pedir el lote y no se alteran más durante la simulación.

4.4.8. Matrices de variables

La información de las variables anteriores se agrupa en las siguientes cuatro matrices que cambian cada vez que transcurre un día en el sistema.

4.4.8.1. Matriz principal

Esta matriz se denota matPrincipal y contiene las variables necesarias para calcular los tres costos principales del sistema de inventarios. Un ejemplo está en las Tablas 34 y 35.

Tabla 33: Atributos de unidades.

Atributo	Nombre	Descripción	Cambios
Atributo identificación de lote	atlDLote	Es un número que se lleva para saber el número del lote donde vino la unidad. Se denota atIDLote y es igual a la variable acumPedidos después de pedir. Por defecto, el lote del inventario inicial en almacén al inicio de la replicación (que no se pide, sino que ya estaba allí) se identifica con el número 0. El primer lote pedido se identifica con el 1, el segundo con el 2, etcétera.	Al momento de pedir, si se pide.
Atributo día de pedido de lote	atDiaPedido	Es el día al final del cual fue pedido el lote que contiene a la unidad. Se denota atDiaPedido y es igual a la variable tDia para ese día.	Al momento de pedir, si se pide.
Atributo tamaño de lote	atTamanoLote	Es el tamaño del lote que contiene a la unidad. Se denota atTamanoLote y depende de la política de inventario.	Al momento de pedir, si se pide.
Atributo día de embarque de lote	atDiaE mb	Es el día al inicio del cual el proveedor envía con el transporte el lote que contiene a la unidad. Se denota atDiaEmb y es igual a atDiaPedido+1+demoraProv (el 1 es porque si demaraPrav=0, lo minimo que llega es al día siguiente al embarque porque se pidió al final de atDiaPedido).	Al momento de pedir, si se pide
Atributo día de llegada de lote	atDiaLlega	Es el día al inicio del cual llega el lote que contiene a la unidad, al almacén. Se denota atDiaLlega y es igual a atDiaEmb+demoraTrans.	Al momento de pedir, si se pide
Atributo dia de caducidad del lote	atDiaCaduca	Es el día al inicio del cual caduca el lote que contiene a la unidad. Se denota atDiaCaduca y es igual a atDiaEmb+tCaducidad Esta depende del día que el mismo fue embarcado pro el proveedor, si se supone que el proveedor entrega el lote en perfectas condiciones al transporte. Se supone que es una constante especificada por el proveedor y por tanto, por el gerente.	Al momento de pedir, si se pide

Tabla 34: Ejemplo de matriz principal.

tDia	cantLlega	caduc	invInicAlm	dem	cons	invFinAlm	falt	invFueraAP	mvlnvAP	contRev	sePide
1	0	0.	200	12	-12	188	n	0	188	- 0	1
2	0	D	188	H	E	180	a	386	566	1	0

Fuente: Autor (2014)

Tabla 35: Ejemplo de matriz principal. Continuación

atiOtole	atDiaPedido	atTamanoLote	atDiaEmb	atDiaLlega	atDiaCaduc	invFueraDP	nivlnvDP
1	386	1	4	5	1004	386	574
- 0	0	0	0	0	0	386	566

Fuente: Autor (2014)

4.4.8.2. Matriz de lotes fuera

Esta matriz se denota *matLotesFuera* y contiene los atributos de los lotes que aún no llegan al almacén. Contiene la información de los lotes fuera, por lo que en cualquier día puede construirse a partir de la principal.

4.4.8.3. Matriz de inventario en almacén

Esta matriz se denota como *matlnvAlm* y tiene los atributos de las unidades de inventario del almacén. Cada unidad tiene una fila propia y todas conservan los atributos del lote donde vinieron. Dicha matriz posee información adicional, ya que registra el orden en que van saliendo las unidades (que se considera aleatorio) para ver cuales caducan.

4.4.8.4. Matriz de medidas de desempeño

Esa matriz se denota matMedDes y contiene los resultados de cada replica simulada en

sus filas. Sus columnas son:
el costo variable de pedir
(ctoVarPedir), el costo fijo
de pedir (ctoFijoDePedir), el
costo de mantener
(ctoMantener), el costo de
faltantes (ctoFalt), el nivel
de servicio cíclico (csl) y al

Costo	Nombre	Calculo
Costo variable de pedir	ctoVarPedir	ctoVarPedir=C · acumUnidPedidas
Costo fijo de pedir	ctoFiJoPedir	ctoFijoPedir = K ·acumPedidos
Costo de mantener	ctoMantener	$ctoMantener = H \cdot acumNivInvDP$
		ctoMantener = h · C · acumNivInvDP
Nivel de servicio cíclico	rsi	csl = 1 acumCiclosFalt
		acumCiclos
Tasa de surtido	6	$fr = 1 - \frac{acumFalt}{}$
		acumDem
Porcentaje de caducas	porcentCaduc	porcentCaduc acumCaduc
		porcentCaduc -

Tabla 36: Medidas de desempeño.

Fuente: Autor (2014)

tasa de surtido (fr). Un ejemplo se ve en la Tabla 36

acumUnidPedidas

4.4.9. Medidas de desempeño

Las medidas de desempeño del sistema se calculan al final de cada replica como en la Tabla 37.

	Ta	bla 37: Dese	empeño par	a cada	replicad	ión	-	
replica	ctoVarPedir	ctolijoPedir	ctoNantener	ctnFalt	choTetal	esi	Îr	porcentCaduc
3	40530	500	990.2644231	0	47120.1	1	ź	- 0
- 2	40530	600	1042.5625	0	42172.6	1	Ī	- 0
3	40530	600	1044.581731	- 0	42134.6	1	li	10

Fuente: Autor (2014)

4.4.10. Identificación de los objetivos del modelo

Los dos objetivos principales del modelo son:

- Proponer políticas que minimicen los costos, respetando las restricciones impuestas por el gerente de ser posible.
- Analizar el desempeño de otras políticas de interés para el gerente.

4.5. Fase V: Diseño de algoritmo de procesos de gestión

Ahora que las entradas, y el funcionamiento del sistema se han explicado, se procede a describir el algoritmo diseñado.

4.5.1. Entradas del algoritmo

4.5.1.1. Opciones generales

Esta tabla se llama opciones Generales, y un ejemplo se muestra en la Tabla 38.

amilisis	datDenumda	umidDem	datDemoraProv	datDemoraTrans	(Caducida)
2000 EEE	on e	1	sone	Serie	2

Sus columnas se detallan en la Tabla 39. En esta tabla se indica el tipo de análisis a realizar (simular o recomendar en la columna análisis), la forma de introducir los datos de la demanda, las unidades de la demanda, la forma de introducir los datos de las demoras y el tiempo de caducidad del producto. Estas opciones, no dependen de si se va a recomendar buenas políticas o a simular una política particular, por lo que pueden dejarse fijas al cambiar de una modalidad a otra.

Tabla 39: Columnas de opciones generales.

Opción	Columna	Descripción
Tipo de análisis	analisis	Se debe especificar si se quiere simular una política (escribir
		"simular"), o que el programa recomiende una buena política para e gerente (escribir "recomendar").
Datos de la	datDemand	Se especifica la forma en que se suministra información de la
demanda	a	demanda. Puede hacerse de dos formas: una serie de tiempo
		(escribir "serie"), o suponer que sigue una distribución triangular
		(escribir "triangular", esta distribución se utiliza por ser una de las
		más intuitivas dado que incorpora el rango de la variable como sus
		parámetros).
Unidades de	unidDem	Se especifica el tamaño de los lotes en los cuales puede venir la
demanda		demanda. Por ejemplo, escribir 10 significa que la demanda tomaría
		los valores 10, 20, 30, etc.
Datos de demora	datDemProv	Especifica si la demora de proveedor es una constante (escribir
de proveedor		"constante"), una distribución triangular (escribir "triangular") o una
		serie de tiempo (escribir "serie"). Viene en días.
Datos de demora	datDemTran	Se especifica de forma similar a la demora de proveedor. Viene en
de transporte	S	días.
Tiempo de	tCaduc	Es el tiempo que dura un lote antes de volverse no vendible desde
caducidad		que el proveedor lo entrega al transporte. Viene en días.

Fuente: Autor (2014)

4.5.1.2. Opciones de costos

Esta tabla se llama *opcionesCostos* y un ejemplo se muestra en la Tabla 40. Sus columnas se detallan en la Tabla 41.

Tabla 40: Ejemplo de opciones de costos.

K	C	- h	H
15.00	2	0.20	-
12,00	Fuente: A	utor (2014)	

Tabla 41: Columnas de opciones de costos del programa

Opción	Columns	Descripción
Costo fijo de ordenar	6	Representa el costo fijo de pedir y se debe expresar en Bs/pedido. Es una entrada obligatoria.
Costo de unidad pedida	T.	Representa el costo de cada unidad pedida y se debe expresar en Bs/unidad. Es una entrada obligatoria
Tasa de mantenímiento	'n	Se introduce como un porcentaje del costo unitario (generalmente este porcentaje lo estima el departamento de finanzas o contabilidad). En caso de no tenerse, el rendimiento de otras inversiones (como las tasas de interés de los bancos) expresada como porcentaje diario será suficiente. Tiene dimensiones de 1/día.
Costo unitario de mantenimiento diario	Н	Si no se especifica h, se puede especificar H directamente. Se debe expresar en Bs/unidad/día. Es obligatorio que se indique h o H pero no ambos.

4.5.1.3. Opciones de política

Esta tabla se llama opcionesPolitica y un ejemplo se muestra en la

politica.	2.	tr	Z	19
- 02	11.	2	5	6

Tabla 42. Sus columnas se detallan en la Tabla 43.

Tabla 43: Columnas de opciones de política del programa

Opción	Columna	Descripción
Política a utilizar	Política	Especifica el tipo de política a utilizar por el programa en todo momento. Pueden ser: punto de reorden y nivel de reorden (escribir "zZ"), punto de reorden y tamaño de lote (escribir "zq"), tiempo de decisión y nivel de reorden (escribir "tz") o tiempo de decisión y tamaño de lote (escribir "tg")
Variables control	z, t, Z y q	Son los valores de las variables control de la política a utilizar. Solo so leerán las indicadas por la columna "politica".

Fuente: Autor (2014)

4.5.1.4. Parámetros y serie de la demanda, de la demora de proveedor y de la demora de transporte.

Si se especifica la demanda como una constante o como una distribución triangular, deberá especificarse el valor de la constante o

Tabla 44: Ejemplo de parámetros de la demanda.

los parámetros de la triangular como en la

Fuente: Autor (2014)

número 1 al final de cada columna identifica que se trata de la tabla *paramDemanda*, se usa el 2 para *paramDemoraProv* y el 3 para *paramDemoraTrans*. Las series obtenidas se denominan *serieDemanda*, *serieDemoraProv* y serieDemoraTrans.

Si se especifica la demanda como una serie de tiempo, se llena el histórico de ventas como la Tabla 45. Se llenan tablas similares para la demora de proveedor y la de transporte, dependiendo de si se especifican como constantes, distribuciones triangulares o series.

Tabla 45: Ejemplo de serie de tiempo de ventas.

dia	Ventas
1	+
2	T.
3	5
4	1
3	3

Fuente: Autor (2014)

4.5.1.5. Opciones de simulación

Esta tabla se llama *opcionesSimulacion* y un ejemplo se muestra en la Tabla 46. Sus columnas se explican en la Tabla 48.

Tabla 44, la cual se llama paramDemanda. El

Tabla 46: Ejemplo de opciones de simulación.

replicas	10
1	3
	replicas

4.5.1.6. Opciones de recomendación

Esta tabla posee el nombre de opcionesRecomendacion y un ejemplo se muestra en la Tabla 47. Sus columnas se explican en la Tabla 49.

Tabla 47: Ejemplo de opciones de recomendación.

restFalt	p	est	(r
3	3.00	1	3.

Fuente: Autor (2014)

Tabla 48: Columnas de opciones de simulación del programa

Opción	Columna	Descripción
Tiempo de simulación	tSimul	Se refiere a la cantidad de días a simular para cada replica.
Cantidad de replicas	replicas	Es la cantidad de veces que debe simularse el modelo con los mismos parámetros de entrada.
Inventario inicial	垣	Es el inventario que se quiere que tenga el almacén al comenzar la replicación. Esta decisión es importante, puesto que este inventario puede alterar mucho los resultados de la simulación si no se simula por suficiente tiempo.
Costo unitario de faltante	P	Indica el costo cada unidad de demanda no satisfecha. Se expresa en Bs/unid.

Fuente: autor (2014)

Tabla 49: Columnas de opciones de recomendación del programa

Opción	Columna	Descripción
Restricción sobre faltantes	restFalt	Indica si se utiliza el costo unitario de faltantes (escribir "p"), el nivel de servicio cíclico (escribir "csl") o la tasa de surtido (escribir "fr"). El programa sólo leerá la restricción escrita en esta columna.
Cantidad de replicas	P	lgual que para la simulación, indica el costo cada unidad de demanda no satisfecha. Se expresa en Bs/unid.
Inventario inicial	csl	Indica el porcentaje deseado de ciclos con faltantes. Se expresa como un valor entre 0 y 1. Sólo se debe llenar si no se especifica valor para "p" ni para "fr".
Costo unitario de faltante	fr	Es la proporción de la demanda que se desea satisfacer. Se expresa como un valor entre 0 y 1. Sólo se debe llenar si no se especifica el valor para "p" ni para "csl".

Fuente: Autor (2014)

4.5.2. Algoritmo para simulación

Para simular una política, el algoritmo utiliza las cuatro matrices mencionadas para registrar los cambios en el sistema. Todas las variables se definen como en la Fase IV del modelado matemático.

Se simula el funcionamiento del sistema mediante el código mostrado más adelante para cada replicación y se calculan las estadísticas de las medidas de desempeño. Luego se exporta un informe a una hoja de cálculo con las estadísticas para cada medida y los valores obtenidos para cada replicación. Los pasos a seguir para simular una política se explican a continuación.

4.5.2.1. Inicializar matrices

Las matrices matPrincipal, matLotesFuera y matMedDes comienzan sin ninguna fila, sólo la matriz matInvAlm comienza con la cantidad de filas que diga el parámetro 10.

4.5.2.2. Inicializar variables

Todas las variables calculadas se inician en 0, excepto contDiasRevque se inicializa en tr.

4.5.2.3. Bucle de réplicas

Para cada replica, se repite el bucle de simulación.

4.5.2.4. Bucle de simulación

Para cada tDia desde el 1 hasta el día tSimul, hacer lo siguiente.

4.5.2.4.1. Lle ada de lotes al almacén

Se registran los lotes que llegan al almacén, y se introducen sus unidades en la matriz *matlnvAlm*. Se registran los ID (*atlDLote*) de los lotes que llegaron en *listaLatesLlegan* y las unidades totales que llegan en *cantLlega*. Si es el primer día, o si llega al menos un lote, se cuenta otro ciclo en *acumCiclos*

(46)acumCiclos=acumCiclos+1 (47)diasFaltCiclo=diasFaltCiclo+1 (48)acumCaduc=acumCaduc+1 (49)invlnicAlm=filas(matInvAlm) (50)dem=muestra(serieDemanda) (51)acumDem=acumDem+dem (52)cons=min(dem,invInicAlm) (53) invFinAlm=invInicAlm-cons falt=max(dem-invlnicAlm,0) (54)(55)acumFalt=AcumFalt+falt diasFaltCiclo=diasFaltCiclo+1 (56)

Tabla 50: Ecuaciones para la simulación.

Ecuación

Núm.

acumCiclosFalt=acumCiclosFalt+1 (57)

invFueraAP (58)

=suma(matLotesFuera[_atTamanoLote])

nivInvAP=invFueraAP+invFinAlm (59)

contDiasRev=ContDiasRev+1 (60)

sePide=1 (61)

acumPedidos=acumPedidos+sePide (62)

Fuente: Autor (2014)

(ecuación (46)) y se reinicia la variable diasFaltCiclo a 0 (ecuación (47)).

4.5.2.4.2. Eliminación de unidades caducadas

Cualquier unidad con atributo *atDiaCaduca* igual al día actual, se elimina de matInvAlm, y la cantidad de unidades caducadas se registra en la variable *caduc*. Se acumulan las unidades caducadas (ecuación (48)).

4.5.2.4.3. Cum limiento de la demanda del día

El inventario inicial es la cantidad de filas de matInvAlm (ecuación(49)). Se genera la demanda del día como muestra aleatoria de tamaño 1 de serieDemanda (ecuación (50)). Se acumula la demanda (ecuación (51)).

Se calcula el consumo del día como el mínimo entre la demanda y el inventario inicial (ecuación (52)).

Se eliminan las unidades consumidas de la matriz matlnvAlm, saliendo primero las unidades que caducan antes. Se calcula el inventario final del almacén como el inventario inicial menos el consumo (ecuación (53)).

Los faltantes del día son el excedente de la demanda sobre el inventario inicial (ecuación (54)). Si hay faltantes, se acumulan (ecuación (55)) y se aumenta la variable diasFaltCiclo en 1 (ecuación (56)). Si es el primer día con faltantes del ciclo (diasFaltCiclo=1), se acumula un ciclo con faltantes (ecuación (57)).

El inventario fuera antes de pedir (*invFueraAP*) es suma de la columna *atTamanoLote* en la matriz *matLotesFuera* (ecuación (58)).

El nivel de inventario antes de pedir (nivlnvAP) es la suma del inventario final (invFinAlm) más el inventario en tránsito antes de pedir (invFueraAP) (ecuación (59)).

4.5.2.4.4. Decisión de pedir

El contador entre días de revisión aumenta en 1 (ecuación (60)). El pedido se hace si el contador llega a al tiempo de revisión tros i nivlnvAP es menor que z, dependiendo de la política.

Si se hace el pedido, se registra haciendo *sePide* igual a 1 (ecuación(61)). Se calcula la cantidad de lotes pedidos hasta ahora con la ecuación (62). Se calcula la cantidad pedida, que dependiendo de la política puede ser *Z-nivInvAP* o q. Se acumula la cantidad pedida (ecuación (63)).

Se deben calcular los atributos del lote pedido como sigue. El número de identificación del lote es el número de lotes pedidos hasta ahora (ecuación (64)). Se registra el día al final del cual se pidió (ecuación (65)). El tamaño del lote se calcula con la ecuación (66). Se calcula en qué momento se embarca, como el tiempo cuando se pidió más la demora de proveedor (ecuación (67)). El momento en que llega se calcula como el tiempo cuando se embarcó, más la demora de transporte (ecuación (68)). Al saber el momento de embarque, se calcula la fecha de caducidad (ecuación (69)).

Se inserta el registro del lote, en la matriz matLotesFuera. Se calcula el inventario fuera después de pedir (ecuación (70)), y el nivel de inventario después de pedir (nivlnvDP) se calcula como en la ecuación (71).

La tabla principal (matPrincipal) se actualiza con sus valores de columna respectivos.

4.5.2.4.5. Calculo de las medidas de desempeño

La matriz matMedDes, se actualiza como sigue para esta replicación.

4.5.2.4.6. Costo variable de pedir

La cantidad total de unidades pedidas se calcula como la suma de la columna atTamanoLote de la matriz principal (matPrincipal). El costo se calcula en la ecuación (72).

4.5.2.4.7. Costo fio de pedir

El costo fijo de pedir es el producto del

costo fijo por pedido K y acumPedidos (ecuación (73))

4,5.2.4.8. Costo de mantenimiento

El costo de mantener es el producto de H (o $h \cdot C$) y el acumlnvMantenido (ecuación (74))

4.5.2.4.9. Costo de la ltantes

El costo de faltantes es el producto del costo de unidad faltante p y acumFalt (ecuación (75)).

4.5.2.4.10. Costo total

El costo total es la suma de los tres costos (ecuación (76)).

Tabla 51: Ecuaciones para simulación. Continuación.

Ecuación	Núm.
acumUnidPedidas=acumUnidPedidas+1	(63)
matLotesFuera [1,atIDLote]=pedidosAcum	(64)
matLotesFuera [1,atDiaPedido] =tDia	(65)
matLotesFuera [1,atTamanoLote]=cantPedida	(66)
matLotesFuera [1,atDiaEmb] = matLotesFuera [1,atDiaPedido] +1+muestra(serieDemoraProv)	(67)
matLotesFuera [1,atDiaLlega]= matLotesFuera [1,atDiaEmb] + muestra(serieDemoraTrans)	(68)
matLotesFuera [1,atDiaCaduc]= matLotesFuera [1,atDiaEmb]+tCaduc	(69)
invFueraDP =suma(matLotesFuera [,atTamanoLote])	(70)
nInvDP=invFueraDP+invFinAlm	(71)
ctoVarPedir=C*acumUnidPedidas	(72)
ctoFijoPedir=K*acumPedidos	(73)
ctoMantener=h*C*acumInvMantenido	(74)
ctoFalt=p*acumFalt	(75)
ctoTotal=ctoVarPedir+ctoFijoPedir +ctoMantener+ctoFalt	(76)
csl=acumCiclosFalt/acumCiclos	(77)
fr=1-acumFalt/acumDem	(78)
porcCaduc=acumCaduc/acumUnidPedidas	(79)

4.5.2.4.11. Nivel de servicio cíclico

El nivel de servicio cíclico se calcula con la ecuación (77).

4.5.2.4.12. Tasa de surtido

La tasa de surtido es el cociente entre acumFalt y acumDem (ecuación (78))

4.5.2.4.13. Porcenta e de caducas

El porcentaje de unidades caducadas es el cociente entre las unidades caducas y el total de unidades pedidas (ecuación (79)).

Se repite todo el proceso hasta aquí para las réplicas restantes, y se guardan las medidas de desempeño en matMedDes.

4.5.3. Algoritmo de recomendación

Si se quiere recomendar una política, se debe llenar la tabla de *opcionesRecomendacion* de la hoja de cálculo.

Para las recomendaciones de revisión periódica, los cálculos se realizan para políticas de revisión continuas y luego, se aproximan resultados para políticas de revisión periódica, según el método descrito en el marco teórico. Los parámetros D y σ (la media y desviación estándar de la demanda durante un día) y el percentil de demora L se estiman con las series, ya sea dadas por el gerente o creadas a partir de las distribuciones especificadas (la media y desviación estándar se calculan con los últimos 5 días del histórico de ventas. La demora constante L, se estima como el máximo valor posible, el cual es la suma de la máxima demora de proveedor y la máxima demora de transporte.

Un resumen del algoritmo se observa en la Figura 3. Aquí se ve el diagrama del flujo de la información en el programa y se resume el procedimiento tanto para el algoritmo de simulación como para el de recomendación. Se sigue un camino diferente dependiendo de si se quiere simular una política o recomendarla. Los datos se muestran en los informes respectivos.

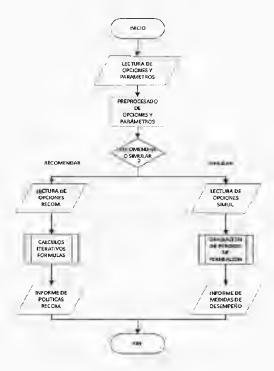


Figura 3: Diagrama de flujo del programa completo Fuente: Autor (2014)

4.6. Fase VI: Creación de aplicación informática

Se procede a programar el algoritmo expuesto en código R, este código se almacena en

un archivo con la extensión ".R". Se prepara una hoja de cálculo con los datos de las tablas requeridas. Luego, el archivo se corre mediante RStudio, que se conecta con la hoja de cálculo y extrae los



Figura 4: Lectura, procesamiento y salida de datos en RStudio. Fuente: Autor (2014).

datos necesarios. Una vez que obtiene los resultados y gráficos, envía las tablas de los informes de simulación y de recomendación a la hoja de cálculo, y las imágenes salen como archivos de extensión ".png". Esto se resume en la Figura 4

CAPÍTULO V-PRUEBAS

5.1. Fase VII: Análisis del desempeño del modelo programado

Se hace uso de datos reales de una empresa con sede en la ciudad de caracas. Los datos del primer artículo seleccionado se muestran a continuación.

5.1.1. Artículo seleccionado

El artículo a analizar consiste de un paquete de rollos para sumadoras de oficina. La revisión de este artículo se realiza de forma periódica, por lo cual interesa obtener una política recomendada por el programa. Por otra parte, se desea probar esta política para estimar su desempeño.

5.1.2. Características del artículo

Según datos de la compañía, este artículo posee una demanda diaria con variabilidad moderada de aproximadamente 35% (desviación estándar respecto a la media) y también un precio unitario de 35 BsF. Su costo fijo de pedido es alto (200 BsF) en relación a su costo de mantener (20 % del precio unitario al año o 0.03337 BsF/día/unidad), por lo cual se espera que el producto rote lentamente en el año. La gerencia utiliza el nivel de servicio como restricción de faltantes, y una política "tZ".

La empresa ha venido utilizando un nivel de servicio de 90%. Se desea saber cuál es la mejor política de este tipo, si realmente se cumple con el nivel de servicio deseado y estimar los costos de operación y la tasa de surtido.

5.1.3. Obtención de una política recomendada

Para esta parte del análisis, las opciones se introducen en las tablas como sigue.

5.1.3.1. Tabla opciones generales

Dado que se quiere recomendar una política, se escribe "recomendar", la demanda viene como una serie facilitada por la compañía (columna datDemanda) y cambia en saltos de tamaño 1 (columna unidDem). La demora de proveedor se quiere introducir como distribución triangular (debido a que sus parámetros son el mínimo, el máximo y el más probable, haciéndola fácil de entender) al igual que la de transporte (columnas datDemoraProv y datDemoraTrans). Los datos

correspondientes se introducen como en la Tabla 52.

Tabla 52: Opciones generales del artículo

analisa	datDemanda	unidDem	datDemoraProv	datDemoraTrans	*Caducidad
recomendar	serie	1	triangular	triangular	tsimul

Fuente: Autor (2014)

El tiempo de caducidad se supone Infinito, por lo que se escribe un número muy alto (columna tCaducidad).

5.1.3.2. Tabla opciones de costos

Se suministran los coeficientes de costo necesarios. El costo fijo de pedido es 200.00BsF

(columna "K"), el costo variable de pedido es 35 BsF (columna "C"), el costo de mantenimiento es 0.0337 BsF/dia/unidad

Tabla 53: Opciones de costos del artículo.

k
200.00 35
Fuente: Autor (2014)

(columna "H", es el 20% de 35 entre 260 días del año). Se rellena en la Tabla 53.

5.1.3.3. Tabla opciones de política

Dado que no se va a simular aún ninguna política, esta tabla se deja vacía por ahora.

5.1.3.4. Tabla parámetros demanda

Como se especifica la demanda como una serie de ventas históricas, esta tabla se deja vacía.

5.1.3.5. Tabla parámetros de demora de proveedor

Dado que se decide usar una demora triangular, se especifican los valores en la Tabla 54.

Los datos dados por la compañía indican que el tiempo de demora de proveedor va de una a cuatro semanas (columnas "min2" y "max2") y que es común que tarde tres (columna "mp2").

Tabla 54: Parámetros de la demora de proveedor del

const2	min2	ma2	mp2
6	5	20	15
-	Fuente: A	Autor (2014	1

5.1.3.6. Tabla parámetros de demora de transporte

Al igual que para la demora de proveedor, la de transporte también sigue una distribución

triangular. Se indica que el transporte suele ser muy rápido, por lo cual se coloca una demora prudencial de uno a tres días (columnas

Tabla 55: Parámetros de la demora de transporte

const3	min1	mod.	mp3
-	1	3	2

"min3" y "max3"), siendo más probable la demora de dos días (columna "mp3"). Se rellena como en la Tabla 55.

5.1.3.7. Serie de ventas

La serie de ventas históricas para estimar la demanda se introduce como en la Tabla 56.

5.1.3.8. Tabla opciones de simulación

Dado que no se va a simular aun, se deja esta tabla vacía.

5.1.3.9. Tabla occiones de recomendación

Debe indicarse que se utiliza el nivel de servicio cíclico, como restricción sobre los faltantes para diseñar la política (columna "restFalt"). El nivel de 90% se especifica en la columna "csl". Se rellena Fuento como en la tabla Tabla 57.

Tabla 56: Serie de ventas históricas del artículo.

dia Ventas
1 12
2 6
3 11
4 10
5 9
6 11
7 18
8 11

Fuente: Autor (2014)

Tabla 57: Opciones de recomendación del artículo.							
restfalt	p	est	lr.				
+41		0.9	-				

Fuente: Autor (2014)

5.1.4. Informe de recomendación

Una vez que se corre el programa en RStudio, se obtienen los resultados de la Tabla 58,

que contiene los valores de cuándo pedir y cuánto pedir para cada uno de los cuatro tipos de política: "zZ", "zq", "tZ" y "tq" Por ejemplo, la tercera política, (denominada C), indica que cada 31 días

política	tipo	1	1.5	2	9.
A	22	329	-	715	_
8	20	329		-	386
- 2	12	1	31	732	- 8
D	172		31	- A-T	386

se debe pedir por la diferencia entre el inventario actual y 460 unidades. Ahora se procede a simular estas cuatro políticas recomendadas.

5.1.5. Simulación de políticas recomendadas

Como punto de partida, se simulará el sistema con los valores de política recomendados por el mismo. Esto permitirá determinar si los supuestos analíticos concuerdan con los cálculos de la simulación.

5.1.5.1. Tabla opciones de política

Esta tabla se rellena con las cuatro políticas a probar, como en la Tabla 59.

elitica.	- 1	tr	1	- 3
12		31	732	

5.1.5.2. Tabla opciones de simulación

Las opciones de simulación se introducen en la Tabla 60. Debido a que la recomendación sugiere una rotación de más de un mes (de 31 días) aquí se ha decidido utilizar un tiempo de simulación de 300 días (columna "tSimul").

Se hace 30 replicaciones (columna "replicas") para cada política, dado que 30 es un numero razonable para

Simul	replicas	10	p
300	30	200	- 0

suponer que la muestra obtenida sigue una distribución normal. Esto se hace para obtener intervalos de confianza adecuados para las medidas de desempeño

Se supone un inventario inicial en el sistema de 200 unidades (columna "10"), para ver los efectos del inventario inicial. Se introducen las cuatro políticas de la Tabla 58, en las opciones de política, una por una. Las demás tablas se dejan como están, debido a que los datos para el sistema son los mismos (la tabla de opciones de recomendación no se utiliza).

5.1.6. Informe de simulación

Se muestran las medidas de desempeño obtenidas para cada política en la Tabla 61. En las Figuras 5, 6 y 7se grafican estas medidas para comparar las cuatro políticas.

5.1.6.1. Metodología para analizar el informe de simulación

El informe de la Tabla 61 indica estadísticas de los costos, el nivel de servicio y la tasa de surtido, para cada política. Se observa que las políticas tienen costos muy similares entre sí, que la política "tq" es la menos costosa, y que la "tZ" es la más costosa. El costo aumenta principalmente por el costo variable de pedir (el precio unitario del articulo), seguido del costo de mantener, y del costo fijo en ese orden (el costo de faltantes, es cero porque p es cero).

Tabla 61: Medidas de desempeño para las cuatro políticas sin caducidad.

Nombre	Tipo	Estad	ctoVarPedir(BsF)	ctoFijoPedir (BsF)	ctoMantener (BsF)	ctoFalt (BsF)	ctoTotal (BsF)	csl(%)	fr(%)	porcentCaduc
		media	142.132	2.000	5.354		149.486	0,9333	0,9953	-
	22	desvest	554		26		553	0,0547	0,0065	
A	22	min	141.330	2.000	5.300		148.684	0,8000	0,9759	
		max	143.710	2.000	5.421		151.067	1,0000	1,0000	
		media	140.504	2.080	5.252		147.836	0,9415	0,9942	
В		desvest	6.732	100	31		6.827	0,0487	0,0070	
В	zq	min	135.100	2.000	5.204		142.304	0,9000	0,9760	
		max	148.610	2.200	5.339		156.149	1,0000	1,0000	
		media	144.649	2.000	5.499	-	152.148	0,9433	0,9953	
c	tZ	desvest	2.533	-	42		2.499	0,0504	0,0067	-
C	12	min	139.930	2.000	5.399		147.504	0,9000	0,9711	
		max	150.010	2.000	5.574		157.418	1,0000	1,0000	
		media	135.100	2.000	4.117		141.217	0,6067	0,9540	
		desvest		-	182	-	182	0,1202	0,0155	4
D	tq	min *	135.100	2.000	3.818	*	140.918	0,4000	0,9215	
		max	135.100	2.000	4.566	-	141.666	0,9000	0,9989	

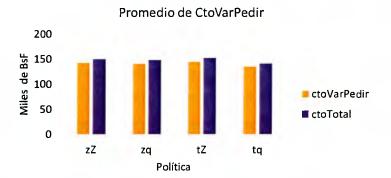


Figura 5: Promedio de costo variable de pedir y costo total sin caducidad. Fuente: Autor (2014)

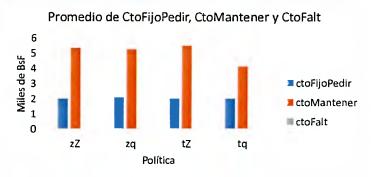


Figura 6: Promedio de costo fijo de pedir, de mantener y de faltantes sin caducidad. Fuente: Autor (2014)

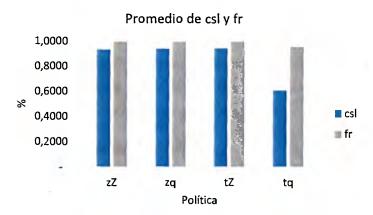


Figura 7: Promedio de nivel de servicio y tasa de surtido sin caducidad.
Fuente: Autor (2014)

Los costos promedio de las tres políticas se ven bastante similares, siendo la "tq" la menos costosa (tanto en costo variable como en costo de mantener). Sin embargo, los costos por si solos no son buenos indicadores debido a que la política "tq" cuesta un poco menos porque no reajusta su tamaño de lote ni su tiempo de pedido como las otras. Por tanto, la comparación exige observar también el nivel de servicio y tasa de surtido (o el costo de faltantes si fuera el caso) para ver cómo estas cumplen con el cliente.

Los niveles de servicio son similares para todas las políticas menos la "tq" (que tiene el peor de 60%), debido a que esta nunca ajusta ni el momento ni la cantidad a pedir. Las tasas de surtido son similares para todas las políticas, siendo también la menor de ellas la de "tq" (de 95,40%). También se ve que el nivel de servicio no es una buena medida de la satisfacción del cliente, dado que en realidad se cumple un gran porcentaje de demanda, aunque siempre haya al menos un faltante por ciclo. Como se ve, un alto nivel de servicio garantiza una alta tasa de surtido, pero no viceversa.

Se ve que los niveles de servicio promedio obtenidos son un poco más altos que el especificado de 90%, en general esto será así (excepto para la política "tq") dado que las formulas usadas usan un percentil de tiempo muerto y diseñan para el peor caso (el máximo tiempo muerto posible). El análisis realizado tiene sólo fines exploratorios, dado que es necesario realizar pruebas de hipótesis y otros análisis estadísticos para comprobar si realmente una medida fue superior a otra.

5.1.7. Gráficas del flujo del inventario

En las figuras 8, 9, 10 y 11 se observa el inventario final de almacén (*invFinAlm*) y nivel de inventario después de pedir (*nivInvDP*) para cada día según cada política. Estas gráficas son una referencia rápida para ver que la simulación marcha bien y para visualizar rápidamente cuestiones fundamentales, como se muestra a continuación.

5.1.7.1. Metodología para analizar las gráficas

En primer lugar, se suele pedir entre 9 y 10 veces durante la simulación (en las Figuras 8, 9, 10 y 11 se ven 9 o 10 saltos hacia arriba de la línea roja correspondientes al registro de un pedido), y todas las políticas menos la "tq" mantienen un inventario de seguridad de aproximadamente 150 unidades (la línea azul suele bajar hasta esos valores). La variabilidad de la demanda es moderada, debido a que la disminución de inventario sigue aproximadamente una línea recta.

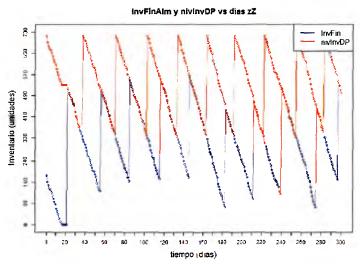


Figura 8: Inventario final y nivel de inventario después de pedir para política A. Fuente: Autor (2014)

Las tres primeras políticas se van ajustando después del primer ciclo para mantener un inventario de seguridad adecuado (Figuras 8, 9 y 10). En cambio, la política "tq" no se recupera de ese estado inicial, porque no puede reajustar sus valores a lo largo del tiempo (se observa que se mantiene rozando el nivel de cero inventario, por lo cual tiene más faltantes que las otras).

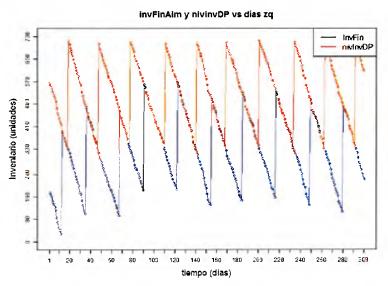


Figura 9: Inventario final y nivel de inventario después de pedir para política B. Fuente: Autor (2014)

El tiempo muerto total se visualiza como los días entre el momento en que la línea roja salta hacia arriba (se hace un pedido) y el momento en que se une con la azul (llega el pedido).

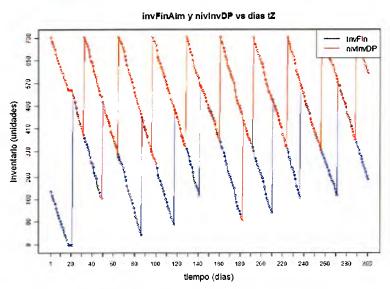


Figura 10: Inventario final y nivel de inventario después de pedir para política C.
Fuente: Autor (2014)

El gerente puede visualizar si el tiempo muerto está retrasando las órdenes, haciendo que lleguen después de que se acaba el inventario (caso de la política "tq").

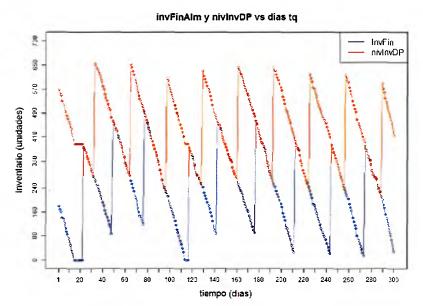


Figura 11: Inventario final y nivel de inventario después de pedir para política D. Fuente: Autor (2014)

5.1.8. Sensibilidad de la simulación a la caducidad

Ahora, se introduce una caducidad de 15 días en la política C (tZ). Este tiempo se utiliza debido a que el lote tenderá a permanecer 31 días en inventario, por lo que caducará antes de cada pedido facilitando la visualización de este hecho.

Las medidas de desempeño para esta política con caducidad están en la Tabla 61, y una comparación con la misma política para el caso sin caducidad se muestra en las Figuras 12, 13, y 14. La gráfica de una replicación se muestra en la Figura 15.

Tabla 62: Informe de medidas de desempeño, política C (tZ) con caducidad.

Nombre	Tipo	Estad	ctoVarPedir(BsF)	ctoFijoPedir (BsF)	ctoMantener (BsF)	ctoFalt (BsF)	ctoTotal (BsF)	csl(%)	fr(%)	porcentCaduc
с	tZ	media	230.736	2.000	5.842		238.579	0,0133	0,4324	0,6842
		desvest	17.658		383		17.996	0,0346	0,0122	0,0308
		min	190.855	2.000	4.889		197.744	-	0,4024	0,5991
		max	250.075	2.000	6.390		258.465	0,1000	0,4528	0,7488

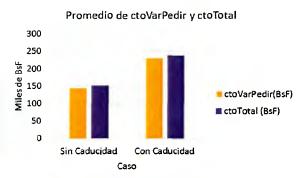


Figura 12: Comparación de costo variable de pedir y costo total, con y sin caducidad. Fuente: Autor (2014)

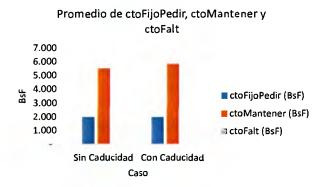


Figura 13: Comparación de costo fijo de pedir, de mantener y de faltantes, con y sin caducidad.



Figura 14: Comparación nivel de servicio y tasa de surtido, con y sin caducidad. Fuente: Autor (2014)

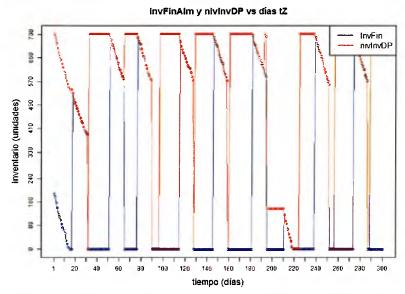


Figura 15: Inventario final y nivel de inventario después de pedir para política C con caducidad.

Fuente: Autor (2014)

5.1.8.1. Metodología para analizar sensibilidad con el informe de simulación

Observando las Figuras 12, 13 y 14, se observa que el costo variable de pedir y el costo total aumentan drásticamente de 152.148 a 238.579 BsF, debido a que se tiene que pedir más inventario para amortiguar las pérdidas por caducidad. El costo fijo de pedir se mantiene constante (porque la revisión es periódica) pero el costo de mantener aumenta un poco (de 5499 a 5842 BsF), debido a desajustes en la política por la caducidad. El nivel de servicio disminuye fuertemente de un 94,33% a un 1,3%, mientras que la tasa de surtido baja de 99,53% a 43,24%, indicando ambos que la caducidad genera demasiados faltantes.

5.1.8.2. Metodología para analizar sensibilidad con la gráfica de nivel de inventario

En la Figura 15, se ven disminuciones abruptas de ambas líneas de inventario (la roja y la azul) debido a que lotes completos se pierden por caducidad cada 15 días en la simulación. También se observa, que pocos días después de que caduca todo un lote, se hace el pedido por cumplirse 31 días. Sin embargo, los pedidos no llegan a tiempo y la caducidad lleva a cero el inventario, generando los faltantes. Como los lotes caducan antes de pedir, la cantidad pedida es siempre el nivel de 732 unidades, elevando el costo variable de pedir drásticamente como se analizó en los informes.

5.1.8.3. Acciones a tomar respecto a la caducidad

Dado que la caducidad elimina unidades del inventario antes del pedido, en este caso particular una buena idea es tratar de disminuir el tiempo entre revisiones pedir antes de que estos caduquen. Sin embargo, esta decisión debe ir acompañada de algún acuerdo con el proveedor y el transporte para bajar los tiempos muertos, dado que si solo se acelera la revisión, de igual manera el lote llegará tarde y habrá faltantes. Si esto no es posible, se debería replantear el hecho de comercializar este producto en términos de costo, o reemplazar el proveedor por otro más rápido.

5.1.8.4. Metodología para otros análisis de sensibilidad

El caso anterior indica los pasos a seguir para analizar la sensibilidad al cambiar un parámetro del sistema. Aunque solamente se estudió la caducidad, el proceso es prácticamente el mismo para otros parámetros como los costos y la variabilidad de la demanda y las demoras.

Los informes de recomendación indican buenas políticas en la mayoría de los casos, pero debe tenerse cuidado de simular las mismas antes de llevarlas a la práctica para visualizar aspectos que no se toman en cuenta por las fórmulas analíticas utilizadas.

Sólo la simulación permite observar los pedidos que llegan después de que se agota el inventario, la estabilización del sistema respecto a las condiciones iniciales, lo niveles de inventario máximo y mínimo durante el análisis (esto es importante si hay restricciones de capacidad del almacén), el inventario de seguridad que se mantiene, las fluctuaciones de la demanda y los tiempos muertos y la caducidad. Así mismo, la simulación estima de forma más adecuada cada costo, el costo total y los niveles de servicio del sistema.

En general, el sistema está orientado a visualizar los puntos críticos respecto a los cuales se pueden tomar decisiones que mejoren las medidas de desempeño del sistema, sin embargo, queda de parte del decisor implementar una solución determinada, la cual debe estar acorde a los objetivos de la empresa y las regulaciones legales aplicables.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Características de los sistemas de inventarios

Los sistemas de inventarios de empresas comercializadoras de bienes de Venezuela suelen utilizar programas ERP para pronosticar la demanda y registrar los niveles de inventario, pero no siempre para planificar las compras (es decir, para diseñar políticas). De hecho la cantidad a pedir se apoya en estos sistemas, pero el cuándo pedir se decide de forma intuitiva (lo cual es inadecuado).

Los faltantes representan un problema serio, debido a la alta variabilidad de la demanda y las demoras, a la caducidad y a políticas mal diseñadas. Muchos sistemas hacen revisión periódica (políticas "tZ" y "tq"), y la rotación de inventario ocurre mínimo de forma diaria y máximo de forma semanal. Se ignora el impacto en costos de las políticas de inventario, especialmente del costo de mantener inventario y el de faltantes.

2. Variables de los sistemas de inventario

Los grupos de variables identificadas para el sistema son: las variables de control (que representan las decisiones de cuándo y cuánto pedir, es decir la política), las variables de estado (que describen el sistema en cualquier momento), la variable de tiempo, las variables asociadas a atributos, y las medidas de desempeño (los costos y el servicio al cliente).

3. Relaciones entre las variables

Los grupos de relaciones entre las variables identificadas son: las ecuaciones de variables de estado (que sirven para obtener las variables de estado a partir de los parámetros y la política utilizada), ecuaciones de medidas de desempeño (que relacionan la política con el servicio al cliente y con el costo total), y las ecuaciones para el cálculo de buenas políticas (derivadas de las ecuaciones anteriores para recomendar buenas políticas).

4. Procesos para la gestión de inventarios

Se diseñaron los siguientes procesos para la gestión de inventarios: un algoritmo de recomendación que propone buenas políticas de inventario (según los cuatro tipos definidos: "zZ", "zq", "tZ" y "tq"), y un algoritmo de simulación que simula el desempeño del sistema bajo cualquier política especificada.

5. Desarrollo de la aplicación informática

Se desarrolló una aplicación informática, basada en hojas de cálculo de MS Excel y en el entorno de desarrollo RStudio que permite obtener resultados rápidos respecto a los cuatro tipos de políticas utilizados, facilitando la toma de decisiones al gerente de inventarios.

6. Comprobación del funcionamiento de la aplicación

Se utilizó la aplicación para analizar el flujo de inventario de un producto, dados sus parámetros de costos, restricciones, demanda y demoras. Se procedió a obtener políticas recomendadas para el producto y a simular el desempeño de las mismas, generando los informes y gráficos respectivos.

Se analizó la sensibilidad del sistema cuando hay caducidad y se mencionaron posibles soluciones aplicables por el gerente para controlar el exceso de faltantes. Luego se dieron las directrices para realizar análisis de sensibilidad respecto a otros parámetros del sistema, y qué puede extraerse de los informes de simulación que no está presente en la recomendación ni en los supuestos analíticos para formular las políticas.

Por último, se describió que puede y no puede hacer el programa por el gerente de inventarios, resaltando sus funciones y como estas se complementan con el juicio del decisor y los objetivos de la empresa.

7. Recomendaciones

Ahora que se tiene esta herramienta, se podrá realizar la gestión de inventarios con mayor versatilidad de selección de políticas, visualizando rápidamente el impacto que la aleatoriedad y las decisiones tiene en los costos. Para futuras investigaciones, se puede adaptar y validar el modelo a otros casos particulares, incorporar los sistemas de múltiples productos, cadenas de suministro más grandes, y sistemas con líneas de espera.

También se pueden incorporar algoritmos de recomendación y de pronóstico más avanzados como aquellos que toman en cuenta la estacionalidad de la demanda, y extender el modelo a otras restricciones como la capacidad de almacén, de proveedor y de transporte.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros:

- Arias F. (2006). El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica. 5ta edición. Caracas: Editorial Episteme.
- Ballou R (2004). Logística. Administración de la cadena de suministro. 5ta Edición, México:
 Pearson.
- Chopra S, Meindl P. (2009). Administración de la cadena de suministro. 3era edición, México: Pearson.
- Collier D, Evans J. (2009). Administración de operaciones. 2da edición. México: Cengage.
- Heizer J, Render B. (2008). *Dirección de la producción y de operaciones: Decisiones tácticas*. 8va edición. Madrid: Pearson.
- Hernández R, Fernández C, y Baptista P. (2006). Metodología de la investigación. 4ta edición. México: McGraw Hill.
- Hurtado de Barrera, J (2010). El proyecto de investigación: comprensión holística de la metodología de investigación. (6ta. ed.). Caracas: Quirón Ediciones.
- Joyanes L. (2008). Fundamentos de programación. 4ta edición. México: McGraw Hill.
- López G, Jeder I y Vega A. (2009). Análisis y diseño de algoritmos. 1era edición. México: Alfaomega.
- Losada J y López R. (2003). Métodos de investigación en ciencias humanas y sociales. 1era edición. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Naddor E (1966). Inventory systems. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Nahmias S, (2007). Análisis de la producción y las operaciones. 5ta edición. México: McGraw Hill.
- Ross S, (1999). Simulación. 2da edición. México: Pearson.
- Sabino, C. (2000). El proceso de investigación. Caracas: Panapo.
- Shannon R (1975). System Simulation: The Art and Science. En Coss R (Ed), Simulación: un enfoque práctico (pp. 12). 2da edición. México: Limusa.

Trabajos especiales de grado:

- Diaz E, Monzon J. (2010). "Mejora de la gestión de inventario para el almacén de la dirección de servicios generales de la UCAB. Trabajo grado de licenciatura. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.
- Itriago G, Jardim J. (2010). Mejoras a la gestión de inventarios de un centro de distribución secundario de una empresa de productos de consumo masivo". Trabajo grado de licenciatura. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.

Artículos científicos:

 Alonso A, Di Novella P, Rodríguez M y Celis P. (2008). Un estudio de la gestión de inventarios en Venezuela. Revista de la facultad de ingeniería U.C.V, 24, pp. 83-93.

Guías y apuntes:

- Escuela de Ingeniería Industrial UCAB. (2003). *Guía de Trabajo Especial de Grado*. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.
- Fernández A. (2012). Apuntes de la clase de Estadística II. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.
- Gutiérrez, L. (2013). Apuntes de la clase de Cadena de Suministro. Caracas: Universidad
 Católica Andrés Bello.
- Pérez, C (2013). Apuntes de la clase de Técnicas de Simulación. Caracas: Universidad
 Católica Andrés Bello.

Páginas web:

- Ms Excel. Disponible: http://office.microsoft.com/en-us/excel/. [Consulta: 2014, Marzo 15].
- The R Project for Statistical Computing. Disponible: http://www.r-project.org/. [Consulta: 2014, Febrero 24].
- Universidad Carlos III de Madrid. Definición de prototipo. Disponible: http://labda.inf.uc3m.es/awa/es/node/69. [Consulta: 2014, Marzo 18].