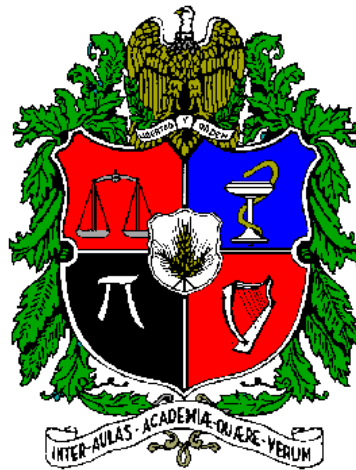


**PROPUESTA METODOLÓGICA  
PARA EL DISEÑO Y OPERACIÓN DE INSTALACIONES  
DE ALMACENAMIENTO MODULARES ECOEFICIENTES  
PARA PRODUCTOS NO PERECEDEROS**

TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
MAGISTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Oscar Palacio León  
Magister en Investigación Operacional y Estadística

DIRECTOR:  
Wilson Adarme Jaimes, Ph.D



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE BOGOTÁ D.C  
MAESTRIA EN INGENIERIA INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERIA  
2012**

*A todos los que me han acompañado en este camino,  
a mis hijos Laura Gabriela y Santiago y en especial a la mujer  
que me regalo la felicidad que todo hombre anhela, Nubia Patricia,  
pilar fundamental sin cuya implicación nada de esto habría sido posible*

*Por todos esos momentos que no se volverán a recuperar*

## **Agradecimientos**

*El autor de la presente investigación desea dejar constancia de su reconocimiento y admiración por sus maestros y amigos, **Wilson Adarme Jaimes** docente investigador de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá D.C. y **Jaime A. García** docente emérito de la Universidad del Rosario, por todos los aportes brindados desinteresadamente a nivel de formación profesional como pedagógica a lo largo de la última década.*

*Mis más sinceros agradecimientos a todos los maestros de las áreas de Investigación de Operaciones, Estadística, Producción y logística a nivel mundial que han colaborado con sus opiniones, informaciones y sugerencias; en especial a mi director de tesis de maestría director del Grupo de Investigación SEPRO UN. Asimismo, dar las gracias a todos mis estudiantes por haberme dado la oportunidad de compartir los conocimientos adquiridos tanto en el campo profesional como académico, en especial los educandos de la Facultad de Ingeniería Industrial de la universidad Militar Nueva Granada.*

*Sin duda alguna el autor de la presente investigación rinde un merecido homenaje a todo el personal de la compañía MATROMOL SAS por toda su colaboración y confianza prestada a lo largo de los últimos años, en especial a su junta directiva encabezada por su socia la Ingeniera Ingrid Acosta Velásquez.*

# TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRAC

1.	Introducción	11
1.1.	Presentación general	11
1.2.	Antecedentes	11
1.3.	Hipótesis de trabajo	12
1.4.	Objetivos	12
1.5.	Alcance de la tesis	13
1.6.	Estructura general de la tesis	14
2.	Logística de sostenibilidad	15
2.1.	Sostenibilidad y CoSo	16
2.1.1.	Desarrollo sostenible (DS)	16
2.1.2.	El concepto de la CoSo	16
2.1.3.	ACV de la CoSo	17
2.1.4.	Herramientas de gestión empresarial para el DS	18
2.2.	DSP Ecoeficientes	19
2.2.1.	DSP para los Ingenieros Industriales	20
2.2.2.	DSP para los Ingenieros Civil	21
2.2.3.	DSP para los Ingenieros Químicos	21
2.2.4.	DSP para los Arquitectos	23
3.	Logística de almacenamiento	24
3.1.	CS y Logística Sostenible	25
3.1.1.	CS y Logística	25
3.1.2.	Objetivos de la SCM	25
3.1.3.	Ciclo de la Logística	26
3.1.4.	Logística	27

3.1.5.	Efecto Forrester	28
3.1.6.	Indicadores de la Gestión Logística	29
3.2.	Sistema de Almacenamiento	30
3.2.1.	Concepto de NdA	30
3.2.2.	Actividades propias del almacenamiento	30
3.2.3.	Funciones del almacenamiento	30
3.2.4.	Operaciones propias del almacenamiento	30
3.2.5.	Costo por unidad almacenada (CPUS)	31
3.2.6.	Zonas básicas de un CD	33
3.2.7.	Administración de la UCE al interior de la CS	35
3.2.8.	Parámetros básicos de diseño para un CD	36
4.	Diseño Metodológico de Trabajo	39
4.1.	Características de MEINASA	41
4.2.	Criterios de cientificidad MEINASA	42
4.3.	Procesos que engloban a MEINASA	43
4.3.1.	Integración de los stakeholders al PITIA	43
4.3.2.	Análisis al problema del almacenamiento	45
4.3.3.	Análisis a las metas perseguidas por el PITIA	47
4.3.4.	Viabilidad Comercial del PITIA	48
4.3.5.	Viabilidad Técnica del PITIA	49
4.3.6.	Viabilidad Económica Financiera del PITIA	51
5.	Caso de Aplicación de MEINASA	53
5.1.	Intervención de MATROMOL SAS	54
5.2.	Estado Actual del SA de MATROMOL SAS	59
5.3.	Diseño del SA de MATROMOL SAS	62
5.4.	Descripción del Modelo Matemático de MEINASA	65
5.4.1.	Inventario máximo proyectado para el CD	65
5.4.2.	Capacidad de almacenamiento CD	68
5.4.3.	Proceso de negociación de la UCE entre los interesados	70
5.4.4.	Zonificación del Área de Almacenamiento	70
5.4.5.	Viabilidad Financiera del Modelo	71
6.	Conclusiones	72
7.	Bibliografía	75
	Anexos	84
	Apéndices	108

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Dimensiones del DS	17
Figura 2-2: Ciclo de Vida de un Edificio Sostenible	18
Figura 2-3: Herramientas Empresariales que apoyan el DS	18
Figura 2-4: Árbol de Productos Tecnológicos para la CoSo	22
Figura 2-5: Proceso de emplazamiento en la CoMod	23
Figura 3-1: Puntos de Penetración de Pedido	26
Figura 3-2: Estructura básica de una CS	26
Figura 3-3: Macro operaciones de la SCM	27
Figura 3-4: Actividades propias de la Logística	27
Figura 3-5: Evolución de la Logística	28
Figura 3-6: Efecto Látigo	29
Figura 3-7: Operatividad de un CD	31
Figura 3-8: Relación entre Inversión y Altura del CD	32
Figura 3-9: Relación del área del Terreno/EI	32
Figura 3-10: Zonas del CD relacionadas con la ZA	34
Figura 3-11: Parámetros de diseño para el PM	34
Figura 3-12: Cubicaje de la UCE	35
Figura 3-13: Esquema de negociación coordinada de la UCE	36
Figura 3-14: Guía para la selección de medios para el CD	37
Figura 3-15: Uso y eficiencia del cubicaje del CD	38
Figura 5-1: Modelo grafico de Bassan	69
Figura 5-2: Modelo matemático de Bassan	69

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo A: Indicadores de ecoeficiencia	84
Anexo B: Indicador LPI para Colombia	94
Anexo C: Indicadores KPI para SA	100
Anexo D: Estructura Orgánica de MATROMOL SAS	101
Anexo E: SA propuesto para la NdA de MATROMOL SAS	102

## **LISTA DE APÉNDICES**

Apéndice A: Diagnostico Empresarial de MATRMOL SAS	108
Apéndice B: Organigrama propuesto para MATROMOL SAS	120
Apéndice C: Diseñador MEINASA de CD_ENTREPLANTAS	121
Apéndice D: Planos de los Layouts propuestos para el CD	122
Apéndice E: Simulación en Promodel de los Layouts propuestos	124
Apéndice F: Análisis de viabilidad Financiera del PITIA	128



## RESUMEN

*La adopción de un esquema de trabajo unificado desde la planificación estratégica por parte del planificador en diseño de sistemas productivos, es un factor clave para el desarrollo de nuevos proyectos inmobiliarios de tipo industrial autosostenibles, que estén alineados con los principios de la inmoticos, que integre en el diseño los procesos operativos de la actividad económica que lo concibe, que brinde protección y cuidado del medio ambiente, cumpliendo con los desafíos y necesidades que demanden los usuarios habituales del edificio industrial. Por tal razón esta tesis de maestría propone una metodología general para el diseño y operación de instalaciones de almacenamiento modulares ecoeficientes para productos no perecederos, que aporte al desarrollo sostenible y económico empresarial del país, empleando principios de optimización propios de la ingeniería industrial que incremente el grado de aceptación de los stakeholders.*

*La metodología propone un plan de trabajo armonizado con la filosofía de la administración de la cadena de suministro, con la finalidad de proponer el empleo de modelos sociales permeados por los protocolos de conceso por parte de los agentes, en especial para países en vía de desarrollo sostenible, cumpliendo con los nuevos desafíos que genera el entorno y el mercado constantemente, la metodología se enmarca en la línea del pensamiento esbelto de los proyectos referentes a temas de Innovación y Tecnología.*

**Palabras claves:** *Cadena de Suministro, Sistema de Almacenamiento, Diseño de Sistemas Productivos, Ecoeficiencia, Proyecto Inmobiliario de Tipo Industrial Autosostenible.*

## **ABSTRACT**

*Adopting a unified work plan from strategic planning by the planner in systems industrial facilities is a key factor for the development of new industrial type projects self-sustaining, which are aligned with the principles of inmotoc that integrates in the design the operational processes of economic activity that conceives to provide protection and care for the environment meeting the challenges and needs that demand frequent users of industrial facilities building. For this reason this master thesis proposes general methodology for the design and operation of storage facilities for ecoefficient modular hard gods that contribute to sustainable development and economic of enterprise sector the country using by optimization principles own of the industrial engineering to increase the level of acceptance of stakeholders.*

*The methodology proposes a work plan aligned with the philosophy of the administration of supply chain management in order to propose the use of social models permeated by of Consensus protocols by the part agents especially for way developing countries sustainable in meeting the new challenges created by the environment and the market constantly the methodology is framed in the line of the lean thinking of the projects concerning a matter of Innovation and Technology.*

**Key words:** *Supply Chain, Warehouse System, Design System Manufacturing Facilities, Ecoefficiency, Project of Design Facilities Type Industrial Self-sustaining.*

# **1. Introducción**

## **1.1 Presentación General**

*La logística de almacenamiento es la responsable de rentabilizar en forma sostenible a todos y cada uno de los agentes miembros de una misma cadena de suministro (CS), al proporcionar un nivel de servicio acorde con unos costos razonables transferidos al cliente meta. Razón por la cual, se hace imprescindible que su infraestructura física sea planificada desde el nivel estratégico, mediante la ejecución de un proyecto inmobiliario de tipo industrial autosostenible (PITIA).*

## **1.2 Antecedente**

*El principal problema que afronta la gerencia de almacenamiento es la falta de una conciencia y voluntad clara desde el ciclo PHVA del proyecto logístico que planifica y viabiliza la operatividad de las naves de almacenamiento (NdA), debido a la escases de personal cualificado en esta área, esto aunado a que se trata de un campo del conocimiento del diseño sostenible de edificios donde convergen una multitud de saberes, con multitud de técnicas y filosofías de trabajo, que hacen que sea más complejo su uniformidad metodológica, que permita a los planificadores de diseño de sistemas productivos (DSP) mejorar el desempeño en términos de ecoeficencia [19, 27] y de los sistemas inmoticos [73].*

*Asimismo, los tratados de libre comercio (TLC) han agudizado aun mas esta problemática al interior de la CS, como conjunto. Este es el caso que afronta nuestra nación en la actualidad, en especial con la firma de los TLC con países como Corea, USA, México entre otros, en donde se demanda a los actores nacionales la reducción de sus costos nominales de bodegaje en cerca del 250% [95].*

## **1.3 Hipótesis de trabajo**

*Las instalaciones industriales son componentes fundamentales de las redes de niveles múltiples necesarias para la excelencia en la CS. Por lo tanto, cada agente deberá planificar sus instalaciones tomando en consideración a sus asociados en la red de suministros. Una adecuada planeación de instalaciones industriales a lo largo de la CS asegura que el producto se manufacturará y entregará a entera satisfacción del cliente final. Por lo tanto, comparto la misma opinión que sustenta la escuela de Tompkins, en que todas las naves industriales inmersas en las redes de suministro deberán contemplar las características siguientes: Flexibilidad, Modularidad, Facilidad de Actuación, Adaptabilidad y Operatividad Selectiva, eso sí, enmarcadas en la racionalidad del uso adecuado del medio ambiente. Según esto, me atrevo a plantear mi tesis que pretendo desarrollar en el mediano plazo, que de respuesta al siguiente postulado: **¿Es posible definir una metodología general para el diseño y operación de instalaciones de almacenamiento modulares ecoeficientes para productos no perecederos que permita dinamizar la economía y aportar al desarrollo sostenible de una organización empresarial, empleando principios de optimización inherentes de la ingeniería industrial?***

## **1.4 Objetivos**

*El objetivo principal que persigue este proyecto de investigación es **"Proponer una metodología general para el diseño y operación de instalaciones de almacenamiento modulares eco-eficientes para productos no perecederos, que aporte al desarrollo sostenible y económico empresarial del país, empleando***

***principios de optimización propios de la ingeniería industrial***”, meta que se materializa mediante la realización de los siguientes objetivos específicos:

- ❖ *Proponer las fases por las que debe pasar el diseño y los procesos de operación para una instalación de almacenamiento modular eco-eficiente.*
- ❖ *Caracterizar un sistema productivo de productos no perecederos del sector real.*
- ❖ *Formular y evaluar un modelo exacto para el diseño y operación de instalaciones de almacenamiento modulares eco-eficientes para el proceso productivo del sector real seleccionado.*

## **1.5 Alcance de la tesis**

*La presente investigación se centra únicamente en el diseño de edificios industriales (EI) modulares ecoeficientes a dos aguas con alturas comerciales para uso exclusivo de almacenamiento de productos no perecederos. Asimismo, para el dimensionamiento del área de bodegaje se estudiara su nivel del inventario en función de la unidad de carga eficiente homogénea (UCE), bajo la óptica del uso de la tecnología de mantenimiento por rack para picking con alto volumen de movimiento configurado para ser utilizados en un esquema de almacenamiento de inventario masivo para sistemas múltiproducción denominado entreplantas, por ser esta combinación la que permite eficientar el uso del cubo de almacenamiento.*

*Esta tesis no pretende ser una guía modelo de certificación de edificios industriales sostenibles, sino una aproximación mediante un sistema de indicadores de sostenibilidad que sean propios para los proyectos orientados a la construcción de NdA ecoeficientes para productos no perecederos, desde el punto de vista de los conceptos abanderados por las Naciones Unidas con relación al tema base de investigación.*

*Para finalizar este apartado, se hace conveniente mencionar que el alcance de este trabajo de investigación culmina con la aplicación de la propuesta metodológica a una NdA ya existente de una empresa líder del sector autopartista con sede en la ciudad de Bogotá D.C., con el objeto de diseñarle el sistema de almacenamiento (SA) mediante el uso*

*de un modelo matemático exacto enriquecido de aplicación exclusiva para la logística de almacenamiento.*

## **1.6 Estructura general de la tesis**

*La tesis está conformada por cuatro capítulos centrales, los cuales se especifican a continuación:*

- ❖ Capítulo 2. Logística sostenible. En este capítulo se hace una breve descripción de los enfoques del diseño de sistemas productivos, además se citan las herramientas de gestión empresarial para el DS entorno a la construcción sostenible (CoSo). Igualmente, se definen algunos conceptos que serán usados en los demás capítulos de esta tesis.*
- ❖ Capítulo 3. Logística de Almacenamiento. El objeto de este apartado es realizar una introducción a los diferentes conceptos en el ámbito del diseño y operatividad de las NdA. Además, también se definen algunos de los conceptos básicos de la CS y su aplicación en los procesos de diseño de las NdA.*
- ❖ Capítulo 4. Diseño Metodológico de Trabajo. En este punto de esta memoria de tesis, se presenta en detalle los seis procesos con sus correspondientes veintisiete actividades, que constituyen la propuesta metodológica denominada por el autor de la presente investigación como MEINASA.*
- ❖ Capítulo 5. Caso de Aplicación de MEINASA. En esta sección se hace una descripción general del sistema productivo de una compañía autopartista desde sus orígenes. Además, también se hace un análisis al SA, con el fin de aplicar la metodología MEINASA en combinación de un modelo matemático exacto enriquecido, con el cual se pueda definir el mejor ordenamiento espacial de la NdA que minimice el sobre costo de la decisión conjunta entre la dupla Supplier-Buyer .*

## 2. Logística de Sostenibilidad

*El sector de la construcción en Colombia durante el segundo quinquenio del siglo XXI ha representado en promedio el 5,6%<sup>1</sup> del P.I.B. nacional con una expectativa de crecimiento para los años venideros del 3%<sup>2</sup>, situación que lo convierte en uno de los renglones de la economía más importante para la nación y es a la vez, en comparación con otros sectores industriales, uno de los mayores consumidores de recursos naturales (madera, minerales, agua y energía) y por consiguiente en uno de los generadores de impactos ambientales. Asimismo, son los edificios en general los responsables del 50% aproximadamente del uso de la energía y de las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera [4, 22].*

*Debido a la repercusión de estos impactos, en los últimos veintidós años, se ha venido acunando el concepto de desarrollo sostenible (DS) al interior del sector de la construcción, dando origen a lo que hoy se conoce como construcción sostenible (CoSo) a nivel mundial. Durante este periodo de tiempo, los miembros de las diferentes Consejos de construcción sostenible en el mundo, han sentado bases para unificar criterios, desarrollar metodologías, herramientas y estrategias de sostenibilidad, que definan las buenas prácticas de edificación de construcciones civiles amigables con el medio ambiente [4, 6].*

*Con los antecedentes descritos en los párrafos anteriores, el presente capítulo tiene como **objetivo** conocer las herramientas, técnicas y*

---

<sup>1</sup> Flórez D., A.P y Rozo I., D. (2012). *Memoria de trabajo de Grado: "Thanatos Empresarial: Evolución del Sector de la Construcción en Colombia". Bogotá D.C (Colombia). Publicado por la UROSario.*

<sup>2</sup> *Cálculo propio a partir del procesamiento de la información suministrada en el trabajo de grado de Flórez y Rozo anteriormente mencionado.*

*esquemas de trabajo empleados por los planificadores de DSP bajo el ambiente de la CoSo, con miras a desarrollar una propuesta metodológica para el diseño y operatividad de NdA modulares ecoeficientes para productos no perecederos de tipo general, con orientación hacia la innovación en el proceso de planificación de dichos edificios industriales.*

*Para ello, en primer lugar, en aras de conceptualizar el primer tema en que se fundamenta la investigación, se hace una breve intervención a los conceptos claves como son "sostenibilidad y construcción sostenible", indicando a su vez, los avances existentes en la actualidad en esta materia. En último lugar, se describe los principios en los que se sustentan el DSP haciendo énfasis en los perfiles que pueden adoptar los PITIA y a su vez, se citan los aportes que en esta materia han generado la comunidad: académica, científica y profesional especializada en diseño de edificios industriales.*

## **2.1 Sostenibilidad y CoSo**

**2.1.1 Desarrollo sostenible (DS).** *Tiene por fundamento: "Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" [4, 5, 41], el cual, se ha constituido en un compromiso de los Estados, la sociedad civil y los ciudadanos para sentar las bases de un mundo: próspero, conciliado y en armonía con el medio ambiente, mediante la puesta en marcha de las tres dimensiones básicas de la sostenibilidad (véase figura 2-1) [4, 41].*

**2.1.2 El concepto de la CoSo.** *Es aquella técnica que teniendo especial respeto y compromiso por el medio ambiente, contribuye con el DS al desarrollar las siguientes actitudes [10, 27, 29, 30, 81, 87]: i) Mejorar la eficiencia energética de los edificios, esto permitirá disminuir las emisiones contaminantes hacia la atmósfera; ii) Introducir de manera progresiva, el uso de fuentes energías renovables en los proyectos inmobiliarios actuales y futuros; iii) Controlar la buena gestión de los residuos que genera esta actividad económica, mediante la aplicación del principio de las 3R<sup>3</sup> de la sostenibilidad; iv) Dinamizar*

---

<sup>3</sup> *Hace relación a los procesos de reciclaje, recuperación y re-uso, los cuales son propios de la logística de reversa que le permiten a los agentes de la CS de la construcción maximizar el uso de recursos, tales como, el agua lluvia, desperdicios de mampostería, entre otros ejemplos [39, 52, 54].*



en forma incremental los procesos de rehabilitación de los edificios existentes; y v) Atender los requerimientos que en calidad de vida demandan los usuarios habituales del edificio industrial.

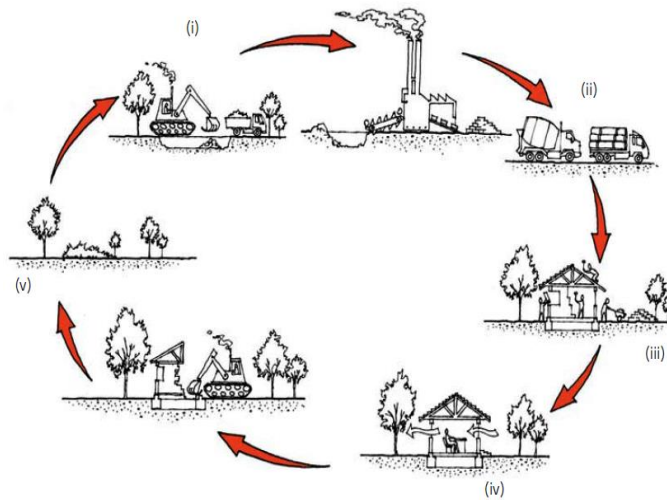
Figura 2-1: Dimensiones del DS [25]



**2.1.3 ACV de la CoSo.** Es uno de los métodos que existen en la actualidad para evaluar el consumo de energía en un edificio en general, el cual puede resumirse en cinco fases [7, 19]: i) extracción y fabricación de materiales y componentes (energía incorporada); ii) transporte de materiales y componentes al sitio de construcción; iii) el proceso de edificación de la instalación como tal; iv) la fase de operación del mismo; y v) la demolición y reciclaje de sus materiales al fin de su ciclo de vida (CV), (véase figura 2-2).

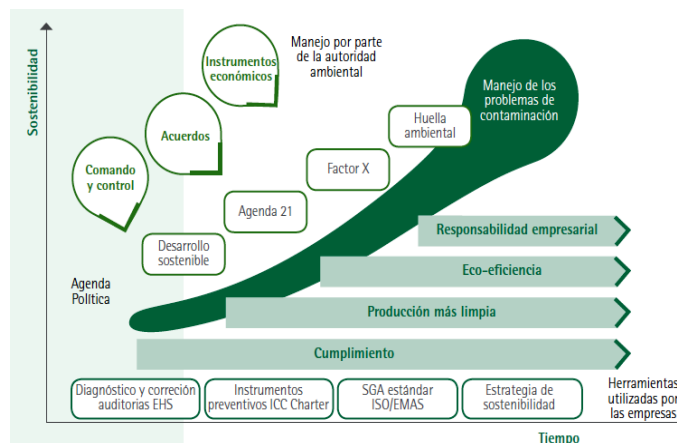
Todas estas fases tienen importancia en el consumo de energía, siendo una de las más intensas la de operación del edificio, lo que no invalida la necesidad de incluir en el análisis todas las restantes fases del CV del edificio, en especial para la toma de decisiones respecto del diseño y construcción [19]. Por su parte, el CV ideal de un EI según el especialista norteamericano en DSP Sule es de cincuenta años aproximadamente. Además, el ACV de una instalación industrial deberá estar soportado por el uso de herramientas propias del DS [7].

Figura 2-2: Ciclo de Vida de un Edificio Sostenible [19]



**2.1.4 Herramientas de gestión empresarial para el DS.** Son una serie de herramientas de gestión que permiten planificar las actividades, ejecutarlas de forma metódica, que admiten evaluar su progreso con el propósito de seguir mejorando el sistema empresarial amigable con el medio ambiente, y a su vez, permite informar e involucrar de forma sistemática a los stakeholders (véase figura 2-3), las cuales se constituyen en el punto de partida hacia la sostenibilidad industrial [9, 19, 28, 29].

Figura 2-3: Herramientas Empresariales que apoyan el DS [26]



De las herramientas expuestas en la figura anterior, es la ecoeficiencia la que interesa intervenir para esta investigación, la cual es definida por el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (CMDES) como: "la distribución de bienes y servicios a precios competitivos, que satisfacen las necesidades humanas y mejoran la calidad de vida al

*tiempo que reducen los impactos ecológicos y la intensidad de recursos a lo largo de su ciclo de vida a un nivel, al menos, igual a la capacidad de carga estimada del planeta". Es decir, consiste básicamente en maximizar el valor del producto o servicio al menor daño ambiental posible [27, 28, 29, 36, 42, 60].*

*Por su parte, la aplicación de un programa de ecoeficiencia al interior de una CS, brinda a sus miembros las siguientes ventajas competitiva [28]: i) Reducción a largo plazo de los costos y gastos en que incurre la organización debido a la optimización del consumo de recursos y debido a la disminución progresiva de la contaminación; ii) Cumplimiento de la normativa existente en materia ambiental que mejoren las relaciones con el ente regulador y en especial con las partes interesadas; iii) Mejora del confort y la seguridad industrial de los colaboradores; iv) Aumento del valor ganado de la firma y en el nivel de la confianza por parte de los stakeholders [30]; v) Mejoramiento de la competitividad e implementación de técnicas de innovación propias para el área de operaciones; vi) Fortalecimiento del compromiso por parte de los clientes internos y de la alta dirección de la organización en el mejoramiento del negocio; y vii) Promover la visibilidad de la CS, mediante la revitalización de sus organizaciones.*

*Para finalizar, el DSP orientados hacia el almacenamiento de productos no perecederos, que fueron concebidos mediante la implementación de esta herramienta de DS, le permitirá al planificador del PITIA lograr las siguientes proposiciones [28]: i) Reducir el uso intensivo de materiales; ii) Racionalizar el consumo de energía; iii) Promover una menor dispersión de sustancias peligrosas; iv) Maximizar el uso sostenible de los recursos renovables; y v) Aplicar el principio de las 3R [5]. En otras palabras, la ecoeficiencia permite desarrollar EI de tipo inmotico [73] que favorece el DSP en términos de confort, uso racional de la energía, conectividad y seguridad industrial [60, 73].*

## **2.2 DSP Ecoeficientes**

*Es una decisión estratégica que deberá asumir la alta dirección de la firma a la hora de diseñar sus unidades productivas [9, 67, 94], la cual cobija las decisiones que se mencionan a continuación [37, 70]: i) Localización del PITIA; ii) La capacidad productiva y de bodegaje del EI; iii) Selección del proceso productivo; iv) Evaluación de la tecnología, en*

*especial la relacionada con la infraestructura física de la NdA (véase Anexo A); v) Infraestructura de servicios; y vi) Personal que requiere la organización.*

*Asimismo, hace más de tres décadas que Richard Muther postulo los principios básicos en que se enmarca el diseño de planta, que en la actualidad siguen vigentes porque permite abordar dicha problemática de forma ordenada y sistemática, los cuales se enuncian así [37, 70]: i) Principio de la integración de conjunto; ii) Principio de la mínima distancia recorrida; iii) Principio de la circulación o flujo de materiales; iv) Principio del espacio cúbico; v) Principio del Confort y de la seguridad industrial; y vi) Principio de la flexibilidad. Además, Muther también postulo los cuatro perfiles del PITIA que puede abordar un planificador de EI, los cuales se citan contextualizados en los términos del objeto de la presente investigación, así [37, 70]: i) **PITIA No 1.** Para una NdA completamente nueva; ii) **PITIA No 2.** Expansión o traslado a una NdA ya existente; iii) **PITIA No 3.** Reordenación del layout de una NdA ya existente; y iv) **PITIA No 4.** Ajustes menores al ordenamiento espacial en NdA ya existentes.*

*Seguidamente, se relacionan los conceptos que en esta materia han sido tratados por diferentes especialistas desde la perspectiva de la ingeniería industrial, civil, química e arquitectura, resaltando sólo aquellos aspectos considerados como significativos de dicha temática para esta investigación.*

**2.2.1 DSP para los Ingenieros Industriales.** *Las escuelas de Ingeniería Industrial forman a sus profesionales en esta área del conocimiento en función del estudio del flujo de materiales, lo cual permite [2, 18, 21, 56, 67, 83, 84, 93, 94]: i) Dimensionar la capacidad de respuesta del sistema empresarial en términos de indicadores de productividad; ii) Equilibrar el mercado con la capacidad de producción del sistema; iii) Determinar el tamaño suficiente, su geometría y sus limitaciones técnicas de la instalación industrial; iv) Emplazamiento de las unidades productivas, áreas para el bodegaje, áreas administrativas y auxiliares, patios de maniobras, infraestructura, entre otros que permitan brindar un bien al mercado a unos costos razonables como consecuencia de la mejor selección del ordenamiento espacial de sus instalaciones; v) Dar cumplimiento a los seis principios emitidos por Muther en torno al diseño del Layout que favorezca su viabilidad desde lo económico; y vi) Velan por el cumplimiento de la normatividad vigente en relación a: Confort, conectividad, seguridad industrial y uso racional de la energía.*

*En general, los ingenieros industriales como planificadores de sistemas productivos, basan sus decisiones de diseño en las dos siguientes reglas prácticas [24, 74]: i) **Regla del 85 por ciento**; y ii) **No hay reglas prácticas de diseño universales para NdA.***

**2.2.2 DSP para los Ingenieros Químicos.** *Las escuelas de Ingeniería Química forman a sus profesionales en esta área del conocimiento en función del manejo de los principios de la termodinámica en comunión con los emanados del balance de masa y energía orientados al estudio del proceso productivo en cuestión, lo cual permite [79, 82]: i) Dimensionar la capacidad diseñada del área de operaciones; ii) Seleccionar el nivel tecnológico apropiado para el área operativa proyectada, involucrando la evaluación de la tecnología a emplear del sistema productivo en términos de su momento de generación a saber: tecnología convencional y/o tecnología de punta, a modo de ejemplo una columna de destilación requerida por un sistema productivo en particular, la decisión se centraría en dos tipos de tecnología a evaluar como son: empacada o de platos, proceso de decisión que sigue un esquema de tipo Branch & Bound en torno a este criterio de DSP; iii) Secuenciar el proceso productivo proyectado atendiendo al flujo de materiales requerido y al cumplimiento de las restricciones técnicas relacionadas con los elementos productivos; iv) Dimensionar la maquinaria y equipo requeridos por el sistema en función de la capacidad de flujo balanceado con respecto al ritmo de consumo de la CS y a la generación de costos razonables para el mismo; v) Balancear el consumo de materiales y energía durante la vida útil del sistema productivo; y vi) Determinar la altura del edificio industrial que mitigue el confinamiento de gases generados por el proceso productivo, evitando que se produzcan situaciones inseguras a su interior.*

**2.2.3 DSP para los Ingenieros Civiles.** *Las escuelas especializadas en obras civiles forman a sus profesionales en esta área del conocimiento en: i) El uso de nuevos materiales para la construcción (Véase figura 2-4) [63, 52]; ii) La innovación en los procesos de construcción de las edificaciones de cualquier tipo [15, 48, 101]; iii) La implementación progresiva de conceptos inóticos<sup>4</sup> durante los procesos de diseño y mantenimiento de proyectos inmobiliarios [4, 9,*

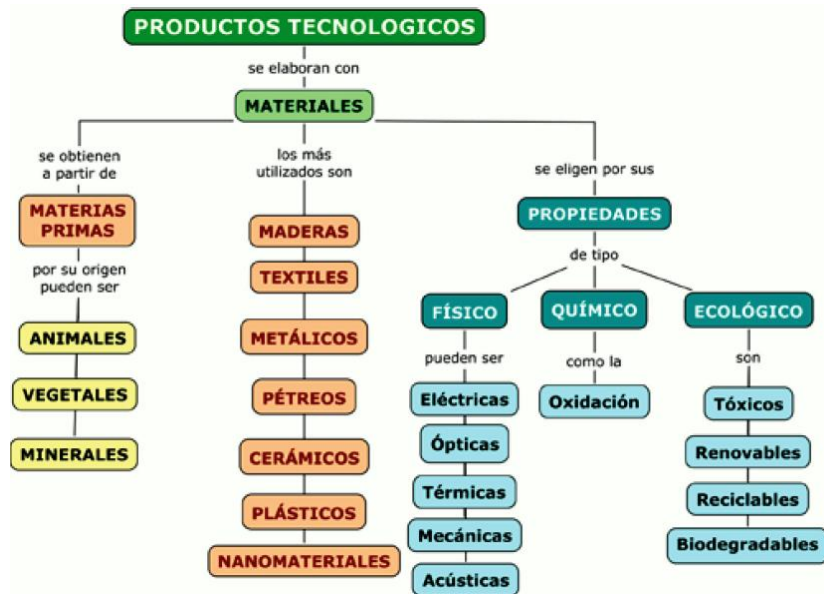
---

<sup>4</sup> *Hace referencia al proceso de automatización de los edificios industriales, con el objetivo de mejorar su eficiencia energética, reforzar su seguridad industrial, aumentar el confort para quienes los habitan de manera habitual, y controlar el funcionamiento de sus instalaciones mediante el uso de sistemas de información [42, 73].*

41]; y iv) El respeto por los stakeholders mediante el cumplimiento normativo a todo nivel durante el ciclo de vida de la construcción sostenible [10, 29, 54].

En general, los planificadores de instalaciones industriales de profesión ingeniero civil e ingeniero industrial, tienen en común la innovación en los procesos de constructibilidad de tipo In Factory [48, 101]. Este sistema de edificación industrializado permite al planificador [9, 86]: i) Generar ahorros de tiempo sobre todo el proyecto inmobiliario; y ii) Eficientar los recursos utilizados en el mismo para de esta forma contribuir al cuidado del medio ambiente [52, 63]. En otras palabras, el sistema de construcción modular, es un procedimiento de edificación industrializado fundamentado en una unidad estructural conocida como modulo [15, 22, 101], el cual se puede replicar de una manera regular a todo lo largo del PITIA por poseer una geometría rectangular de distinta naturaleza (Véase figura 2-5).

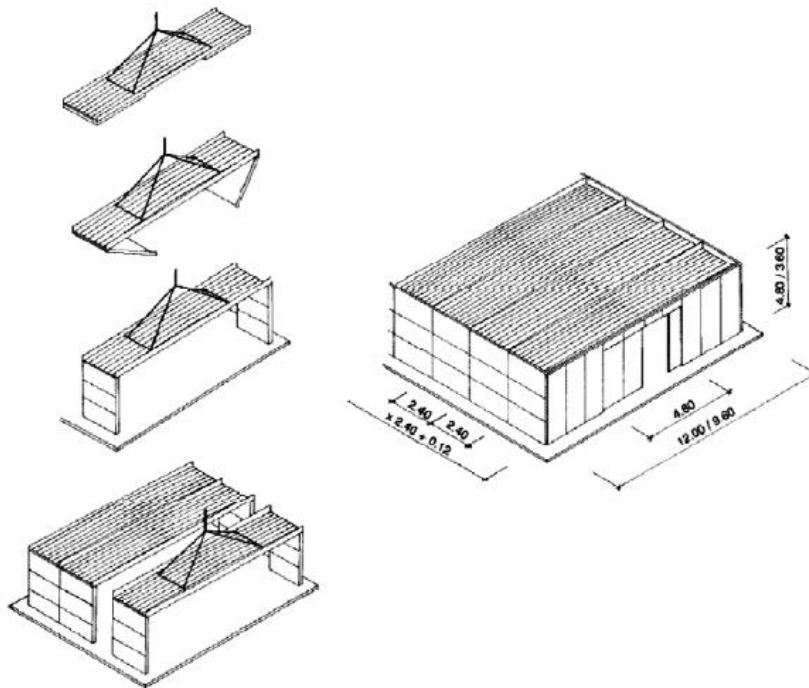
Figura 2-4: Árbol de Productos Tecnológicos para la Construcción [63]



Por su parte, el concepto de industrialización de la construcción, abarca procesos de manufacturación de partes del edificio tanto al interior de las plantas de prefabricados como también dentro del predio de la misma obra, actividades que se realizan con antelación a su ubicación definitiva en el emplazamiento industrial (véase figura 2-5), en general, este sistema constructivo se sustenta en métodos, técnicas y herramientas propias de la producción en serie [96], siendo los sistemas de construcción modular existentes al día de hoy, los

siguientes [22, 101]: i) Sistema modular de hormigón; ii) Sistema modular de madera; iii) Sistema modular de acero; y iv) Sistema modular mixto. En otras palabras, la gestión del PITIA, demanda la aplicación de herramientas de management, tales como [69, 71, 86, 90, 99]: "Project Management", "Value Management", "Value Engineering", "Vaule Planning", el análisis de constructibilidad, "Lean Construction", Evaluación de la Calidad del Edificio durante todo su ciclo de vida, "Business Models", "Enterprise Architecture", entre otras.

Figura 2-5: Proceso de emplazamiento en la Construcción Modular<sup>5</sup>



**2.2.4 DSP para los Arquitectos.** Las escuelas de arquitectura forman a sus profesionales en esta área del conocimiento en función del uso de nuevos materiales para la construcción, en el manejo de la luz natural para el edificio, en la orientación del mismo para aprovechar la velocidad del viento como elemento aclimatador para sus instalaciones y el estudio dimensional del edificio mediante la aplicación de herramientas como: i) La ecuación aurea de la arquitectura; ii) La determinación de la altura optima del edificio mediante el uso de estudios económicos; y iii) Contribuir con un diseño arquitectónico bioclimática y medio ambiental [61, 62, 63, 64].

<sup>5</sup> TECNO FAST ATCO COLOMBIA, In. (29 de Octubre de 1998). Documento informativo sobre construcción modular. Recuperado el 1 de mayo de 2012, de <http://www.tecnofastatco.com.co/construccion-modular/>



### 3. Logística de Almacenamiento

*La gerencia del SA es responsable por que la NdA cumpla con su papel como elemento piramidal de la SCM, ganar dinero hoy y siempre para la firma, dando cumplimiento al logro de sus dos metas parcialmente contrapuestas, como son su capacidad de almacenamiento y su nivel de operatividad [51, 75]. Razón por la cual, se hace necesario el estudio de sus necesidades a partir de los protocolos de consenso concertados entre los actores de una misma CS, que permita garantizar que las condiciones de funcionamiento deben ser en todo momento al menor costo posible [51, 75].*

*El bodegaje como el servicio al Cliente (Disminución de los tiempos de respuesta como también de la carencia de unidades físicas de inventario) son la finalidad de la gerencia del SA [102], como también, la precisión sobre los márgenes económicos de las actividades propias de las NdA, en lo referente a[65, 66]: i) Disminución de los **costos del stock financiero**; ii) Minimizar las **necesidades de inversión en bodegaje**; y iii) Minimizar los **costos operativos** del mismo. Situación que demanda que desde su diseño, se prevea la incorporación de la inmotica como elemento facilitador de la sostenibilidad del EI.*

*Así mismo, las NdA se hacen necesarias al interior de la CS debido al sinnúmero de dificultades (limitaciones en la capacidad de producción, variaciones en la demanda, tiempo de procesamiento, tiempo de entrega, entre otros) que deben afrontar sus agentes en relación aquellos recursos que son altamente empleados en la operación logística (Proveeduría; Manufactura; Distribución Física) [51, 88, 92]. Situación que se traduce en requerimientos para el planificador del DSP en términos de: i) Espacio de almacenamiento para el SKU; ii) Haz de*



luz y altura de la NdA; iii) Sistema de almacenamiento; iv) Política de almacenamiento; v) Conectividad; vi) Seguridad Industrial; vii) Uso racional de la energía; viii) Confort, entre otros aspectos. Por lo tanto, es que se requiere concebir estos EI mediante la formulación y desarrollo de PITIA soportados en la CoSo, tema estudiado en el capítulo anterior.

Queda por añadir, en primer lugar, en aras de conceptualizar este tema de la presente investigación, se hace una breve intervención a los conceptos claves como son "CS y logística sostenible". Por último, se estudia el SA para NdA productos no perecederos siguiendo pautas metodológicas de planeación de instalaciones industriales inherentes al quehacer del ingeniero industrial, que permitan establecer las pautas para la formulación de la nueva propuesta metodológica de diseño y operatividad de instalaciones de almacenamiento modular ecoeficiente.

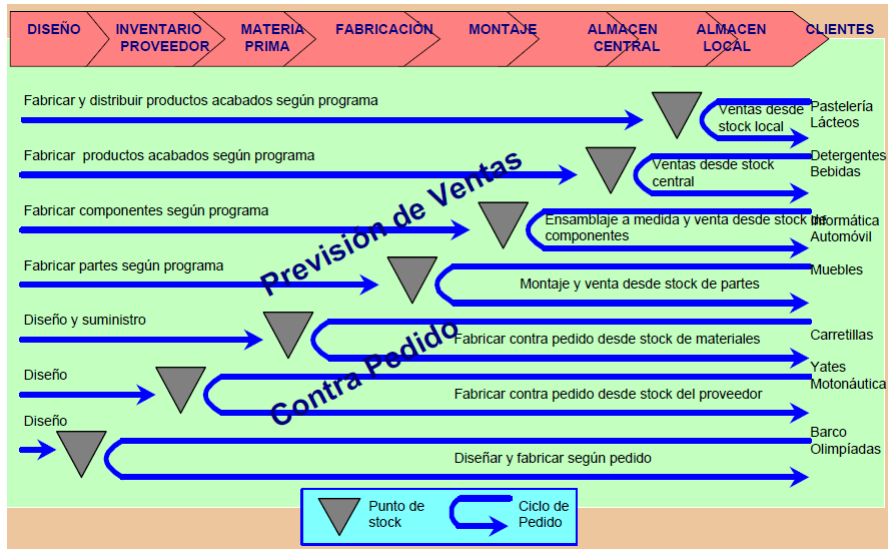
## **3.1 CS y Logística Sostenible**

**3.1.1 Cadena de Suministro (CS) y logística.** La CS es el resultado de una secuencia de procesos y flujos que tienen lugar al interior y al exterior de una organización empresarial, los cuales interactúan entre sí, con el objeto de brindar un nivel de servicio adecuado a sus clientes (véase figura 3-1) [11, 31, 43]. Por su parte, el Council of Logistics Management ha definido la administración de la cadena de suministros (SCM) como "la coordinación sistemática y estratégica de las funciones de negocio tradicional y las tácticas utilizadas a través de esas funciones de negocio, al interior de una empresa y entre las diferentes empresas de una CS, con el fin de mejorar el desempeño en el largo plazo tanto de las empresas individualmente como de toda la CS".

**3.1.2 Objetivos de la SCM.** Representan las metas perseguidas por la SCM con el objeto de equilibrar los costos totales de la CS con el nivel de servicio prestado al cliente que a su vez, le garantice valor ganado al mismo, vía uso de procesos de optimización [23, 100]. Dichos objetivos deben expresar tácitamente el modelo de negocio, la arquitectura de empresa y la planificación estratégica de la organización [99]. Así mismo, los actores [1] que están inmersos en la generación de satisfacción al cliente, son a la vez los responsables del establecimiento de objetivos orientados a dar cumplimiento a los principios de las 3R aplicadas a la industrial, mediante la asignación de recursos con destino

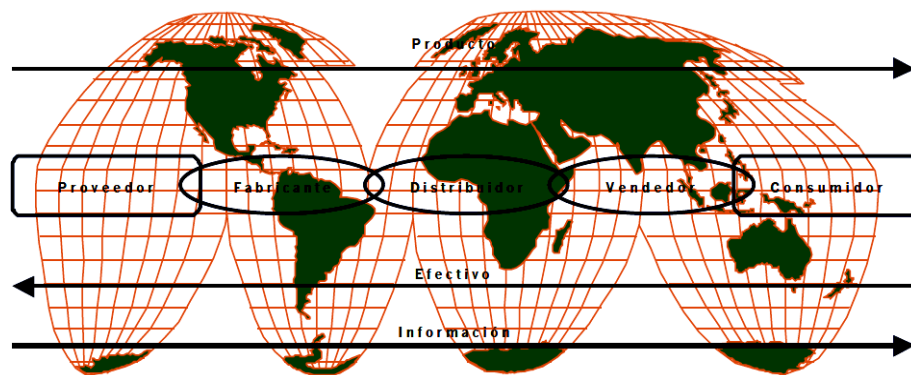
a la generación de programas de Responsabilidad Social Empresarial [5].

Figura 3-1: Puntos de Penetración de Pedido<sup>6</sup>



**3.1.3 Ciclo de la Logística.** En toda **SCM**<sup>7</sup> coexisten dos ciclos logísticos bien definidos en lo que respecta a los flujos monetarios de producto y de información (véase figura 3-2), denominados en el argot de la logística, como: *logística directa* y *logística de reversa*, que al ser sumados generan el concepto difundido en la literatura científica de la administración como el ciclo completo de los sistemas logísticos "SCM" (véase figura 3-3) [1, 31, 35, 58, 59, 81, 82, 83].

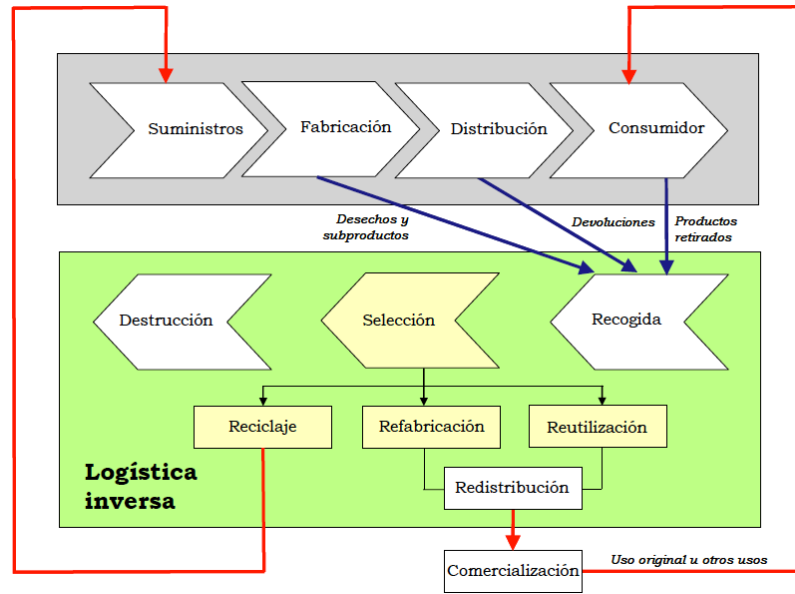
Figura 3-2: Estructura básica de una CS [56]



<sup>6</sup> CASANOVAS V., A. y CUATRECASAS A., LI. (2005). Metodología para el diseño estratégico de la cadena de suministros. Documento no publicado. IX Congreso de Ingeniería de Organización. Girón (España).

<sup>7</sup> Su objetivo fundamental, es: Optimizar la gestión de los flujos físicos, administrativos y de la información a lo largo de la CS desde el proveedor del proveedor hasta el cliente del cliente [50, 57, 59, 100, 102].

Figura 3-3: Macro operaciones de la SCM [61]



**3.1.4 Logística.** El Council of Logistics Management definió Logística como "la parte del proceso de la SCM encargada de planificar, implementar y controlar de forma eficiente y efectiva el almacenaje y flujo directo e inverso de los bienes, servicios y toda la información relacionada con éstos, entre el punto de origen y el punto de consumo, con el propósito de cumplir con las expectativas del consumidor" (véase figura 3-4).

Figura 3-4: Actividades propias de la Logística [56]



A continuación se presenta un pequeño resumen en forma esquemática de las características más relevantes de la evolución industrial de este concepto, su estudio permitirá al diseñador del sistema empresarial parametrizar sus requerimientos en cuanto a infraestructura de almacenamiento, como tal (véase figura 3-5).

Figura 3-5: Evolución de la Logística [23, 33]

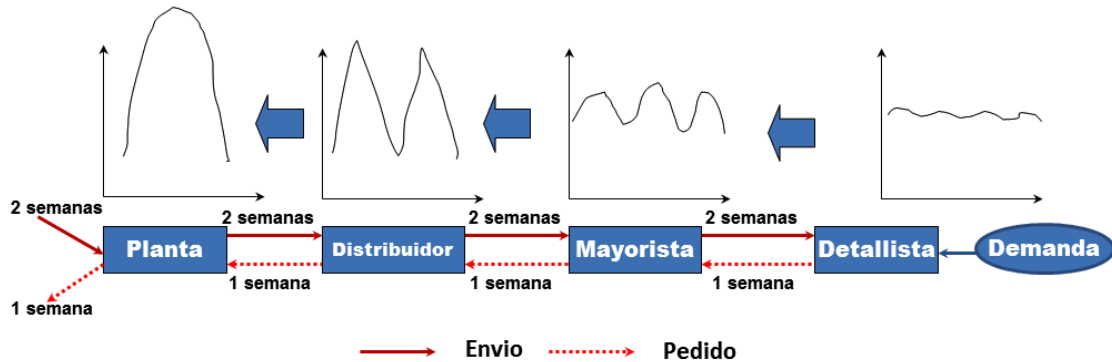


**3.1.5 Efecto Forrester.** Conocido en el ambiente de la logística como el efecto látigo (*Bullwhip Effect*), el cual se puede entender como el fenómeno de distorsión que experimenta la demanda transmitida entre los agentes que pertenecen a una misma CS el cual se va amplificando en la medida en que se aleja del mercado (véase figura 3-6) [38, 62]. Así mismo, este efecto puede definirse como el resultado de la suma de cuatro razones fundamentales que pueden darse incluso de forma simultánea al interior de la CS [38, 62]: i) La inadecuada lotificación de pedidos; ii) La fluctuación en los precios de los productos; iii) Errores en las previsiones de demanda como consecuencia de cambios en los métodos de proyección de la misma; y iv) El racionamiento inequívoco de evitar los agotados mediante el exceso de unidades en los pedidos cursados a sus socios estratégicos.

A su vez, se constituye en un obstáculo importante para los miembros de la CS en su afán de abaratar los costos logísticos de la misma, mediante el empleo permanente de fórmulas de gestión logística, tales como: la disminución del tamaño de las NdA y la coordinación de la UCE [38,62]. Por su parte, las estrategias usadas para la mitigación del efecto *Bullwhip* abarcan desde el uso de las tecnologías de la información para el intercambio de datos sobre la demanda, hasta la centralización de la UCE mediante la aplicación del concepto denominado sociedades estratégicas, el cual dio origen a los conceptos de la administración moderna conocidos como Modelo de Negocio y

Arquitectura Empresarial, los cuales se constituyen con la Planificación Estratégica en el tridente en el que descansan los procesos de colaboración de los agentes miembros de una misma CS para mitigar el efecto látigo vía procesos de coordinación de la UCE [16].

Figura 3-6: Efecto Látigo [75]



**3.1.6 Indicadores de la Gestión Logística.** Estos se convierten en los signos vitales de la firma, y su continua evaluación permite establecer la sintomatología e identificar las condiciones que se derivan del normal desarrollo de las actividades empresariales [68].

En cuanto a los indicadores que miden el desempeño y el resultado del sistema logístico de una firma se puede decir que son relaciones de datos de origen numérico y cuantitativos aplicados a sus procesos de gestión en torno a la recepción de mercaderías; Almacenamiento; Gestión del stock; Despachos de los SKU solicitados por el mercado a través de la conformación de la UCE; Distribución, entregas efectivas y facturación de la UCE; y administración de los flujos de información entre los socios estratégicos [76].

En el mismo sentido, es de anotar que existen indicadores logísticos en la actualidad que evalúan el desempeño de esta función empresarial a nivel país y por su puesto a nivel firma. En el primer caso se aplica el concepto denominado LPI<sup>8</sup> (véase Anexo B), mientras que para el segundo caso se suele hacer uso de los denominados KPI<sup>9</sup> (véase Anexo C).

<sup>8</sup> Esta sigla es conocida en el medio logístico mundial, y expresa la evaluación del desempeño logístico de un país mediante un índice desarrollado por el banco mundial, el cual es publicado bianualmente bajo la denominación de Logistics Performance Index.

<sup>9</sup> Key Performance Indicators, son los que evalúan la operación logística, con el objeto de poder establecer estrategias encaminadas a la reducción de los costos logísticos a largo plazo y racionalizar el uso de sus recursos con miras a generar un aumento en el nivel de su competitividad [76].

## 3.2 Sistema de Almacenamiento

**3.2.1 Definición de NdA.** *Es el lugar en donde se custodia en forma segura las mercaderías que generan valor económico sostenible a los agentes que integran la CS [65, 66], ya que les garantiza [75]: i) Un flujo equilibrado de las mercaderías que se necesitan tener en forma permanente para que el negocio funcione; ii) Organizar y contabilizar las mercaderías al momento de ser ejecutadas las operaciones de recepción y envío por parte del personal operativo del almacén en tiempo real; y iii) Aceptar y almacenar mercaderías hasta que se necesiten o se puedan dar de baja siguiendo los protocolos universalmente aceptados por la gestión de la logística de reversa [35].*

**3.2.2 Actividades propias del almacenamiento.** *El responsable del Centro de Distribución (CD) deberá intentar cumplir los siguientes objetivos fundamentales de un sistema de almacenamiento [44, 75]: i) Optimizar los lean time de órdenes de pedidos completos; ii) Minimizar los costos de operación al interior del CD; iii) Optimizar la rotación de las existencias que son administradas de forma habitual por el CD; iv) Responder rápidamente a las exigencias del mercado al minimizar el tiempo de ciclo del almacenamiento con respeto al Takt Time del servicio exigido por sus clientes, y a su vez mitigar la cantidad de envíos fallidos hacia el sistema logístico atendido; y v) Avalar la calidad, valor y seguridad de los ítems almacenados, en términos de la preservación de los mismos al interior del CD.*

**3.2.3 Funciones del almacenamiento.** *La administración de un CD demanda el desarrollo de actividades de distinto índole relacionadas con el procesamiento de órdenes de pedido de las mercaderías que reposan en él, estas deben suplir los requerimientos de la inbound y de la outbound del sistema logístico en general (véase figura 3-7) [85].*

**3.2.4 Operaciones propias del almacenamiento.** *Dentro de una NdA coexisten diversas políticas de almacenamiento que influyen sobre la operatividad de la misma, en especial las que tiene que ver con la zona de bodegaje, debido a que su implementación como directriz determina [11, 103]: i) El layout zonificado de las posiciones de almacenamiento; y ii) La asignación de las mercaderías a las habías de almacenamiento. Además, las políticas de almacenamiento de mayor aplicación en el sector real, son las siguientes: i) **Semejanza física**; ii) **Semejanza funcional**; iii) **Almacenamiento caótico**; iv)*

**Almacenamiento dedicado; v) Almacenamiento zonificado; vi) Almacenamiento de alta seguridad; y vii) Separación de las existencias de reserva.**

Figura 3-7: Operatividad de un CD<sup>10</sup>



**3.2.5 Costo por unidad almacenada (CPUS).** Es la medida de evaluación económica que se utiliza de forma rutinaria por parte de los gerentes de almacenamiento como punto de referencia para comparar las actividades de almacenamiento, sobre todo las operaciones de los CD de productos finales en la CS. Este costo será parte fundamental del costo de adquisición de la UCE que se negocia coordinadamente por parte de los agentes miembros de una misma CS.

Para el planificador del edificio industrial destinado como NdA el CPUS le permite establecer los siguientes parámetros de diseño: i) Dimensionar el CD, siendo la dimensión fundamental para la formulación y evaluación del proyecto inmobiliario la altura efectiva de almacenamiento (medida a partir de caída de aguas), la cual permite cuantificar las inversiones (véase figura 3-8); ii) Proyectar el terreno requerido para futuras ampliaciones de la NdA (véase figura 3-9); y iii) Tamaño del SKU por ítem almacenado partiendo de la política de almacenamiento deseada por la organización y de los procesos de negociación entre los agentes internos a la misma [3, 46, 52].

<sup>10</sup> Figura alojada en [Google.com/imagenes/gesti3n de almacenes](http://Google.com/imagenes/gesti3n%20de%20almacenes). Recuperada el 1 de septiembre de 2012, de <http://pvmecrunch.com/caracteristicas-y-beneficios-de-un-sistemas-de-gestion-de-almacen>



Figura 3-8: Relación entre Inversión y Altura del CD [75]

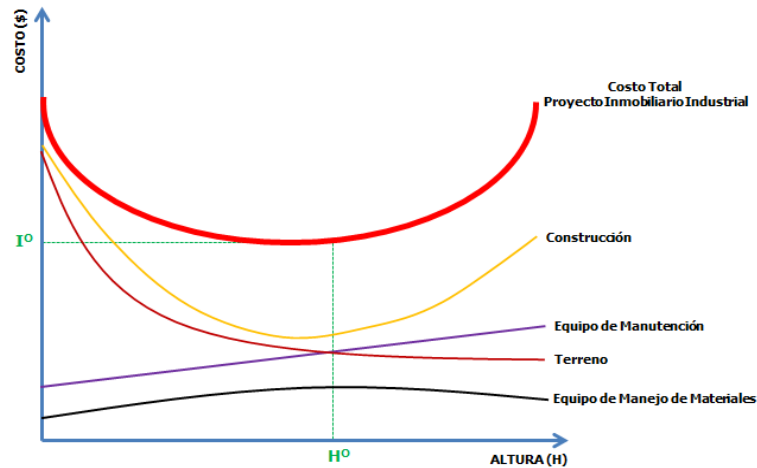


Figura 3-9: Relación del área del Terreno/Edificio Industrial [70]

Dimensiones de los edificios		Superficies necesarias en función de la relación (ratio) «terreno-edificios» elegida									
m <sup>2</sup>	ha	1/1	2/1	3/1	4/1	5/1	6/1	7/1	8/1	9/1	10/1
500		1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000	5 500
1 000		2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000	10 000	11 000
2 000		4 000	6 000	8 000	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000	20 000	22 000
3 000		6 000	9 000	12 000	15 000	18 000	21 000	24 000	27 000	30 000	33 000
4 000		8 000	12 000	16 000	20 000	24 000	28 000	32 000	36 000	40 000	44 000
5 000	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
6 000	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6	6,6
7 000	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7	7,7
8 000	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6	6,4	7,2	8	8,8
9 000	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1	9	9,9
10 000	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20 000	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
30 000	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
40 000	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44
50 000	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
100 000	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110

La figura 3-8 refuerza la importancia que tiene para el planificador del DSP, el tema relacionado con la ubicación del proyecto inmobiliario de especificaciones de uso industrial, el cual deberá pasar por sus dos etapas fundamentales, a saber [8]: 1. La Macro-localización (Se emplean modelos dinámicos de ubicación de proyectos, con el objeto de evaluar su factibilidad económica con respecto a los factores locacionales) <sup>11</sup> y la Micro-localización (Se emplean modelos estáticos de ubicación de proyectos, con el objeto de evaluar su optimalidad

<sup>11</sup> Entiéndase por modelos dinámicos los presentados en la literatura especializada en logística y proyectos, en torno a la localización de proyectos en general, los cuales se engloban en las siguientes temáticas: modelos basados en puntos de equilibrio estáticos (Contabilidad de Costos); modelos basados en flujos de caja descontados (Ingeniería Económica); modelos matemáticos (Investigación de Operaciones); y heurísticas (Economía de Empresas) [8, 32, 50, 57, 99, 100].



económica con respecto a los factores locacionales)<sup>12</sup> [8]. En otras palabras, estos procesos de planificación permiten racionalizar el nivel de inversiones a realizar en activos fijos para el proyecto y, a su vez, permite proyectar los consumos que experimentarían los gastos operacionales de la instalación industrial en general en términos monetarios [14, 65].

**3.2.6 Zonas básicas de un CD.** Son los espacios mínimos requeridos por el CD para su normal funcionamiento, siendo su división principal la zona de infraestructura y el espacio relacionado con la NdA [34]. Con relación a la infraestructura requerida por un CD, el planificador del proyecto inmobiliario de tipo industrial deberá contemplar para su cuantificación perimetral los siguientes espacios [2, 13, 55, 67, 84, 93]: vías de acceso vehicular, peatonal y ciclo ruta; zonas verdes; parqueaderos; encerramientos y portería principal; patio de maniobras; y áreas auxiliares de servicio comunitarias (parqueaderos, zonas recreativas, entre otras), y con respecto al diseño del recinto de la NdA, este deberá hacerlo atendiendo al tamaño, al tipo de CD y en especial a las actividades específicas que se desarrollan en su interior habrá unas zonas u otras. Las zonas habituales de la NdA son [97, 98]: Zona de Recepción; Zona de Control de Entrada; Zona de Packing; Zona de Picking; Zona de Cuarentena; Zona de Bodegaje; Zona de Checking; Zona de Shipping; Zona de Control de Salida; Zona de Espera; Zona Técnica; Zona Administrativa; y Zona de Servicios.

El planificador del edificio industrial de almacenamiento deberá detallar a profundidad la zona de Bodegaje (véase figura 3-10) y el patio de maniobras (véase la figura 3-11); espacios que le permiten cuantificar prospectivamente el área global del CD.

En lo que respecta a la Zona de Bodegaje (ZB), su cuantificación volumétrica está asociada con el dimensionamiento de la UCE de almacenamiento, que a su vez deberá estar en concordancia con el SA, la cual reflejara la política de almacenamiento que viabiliza el modelo de negocio, la arquitectura empresarial y los protocolos de consenso suscritos con sus socios estratégicos. Esta zona una vez cuantificada en términos de área permite proyectar con facilidad los espacios de las zonas asociadas a ella, aplicando un factor de uso del suelo para

---

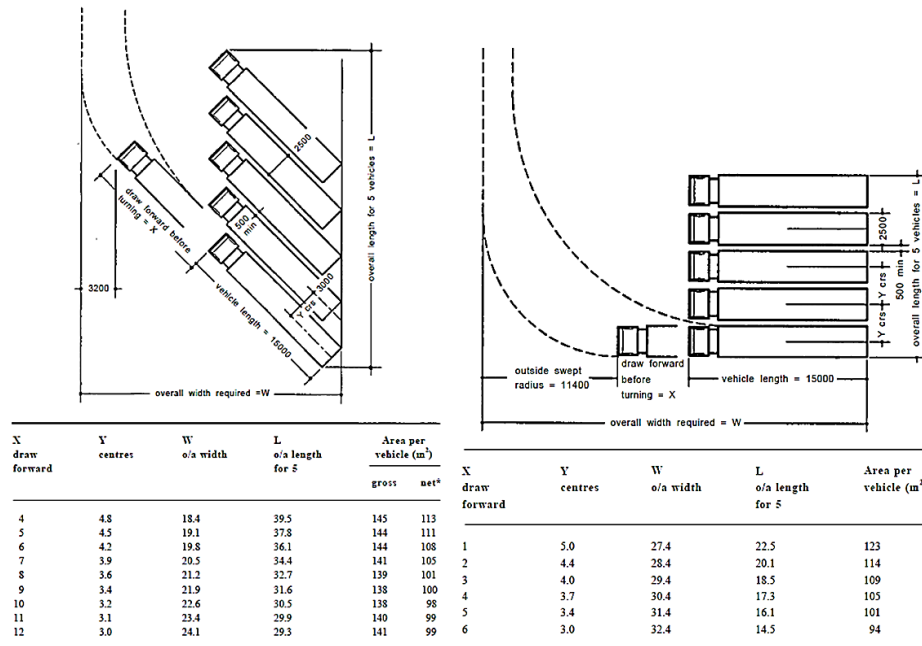
<sup>12</sup> Entiéndase por modelos estáticos los relacionados con la normatividad relacionada con el uso del suelo desarrollada por el Departamento Nacional de Planeación bajo la denominación de Plan de Ordenamiento Territorial (POT) [77].

bodega equivalente a dos o tres veces la superficie requerida por la ZB [34, 66, 75].

Figura 3-10: Zonas del CD relacionadas con la zona de bodegaje<sup>13</sup>



Figura 3-11: Parámetros de diseño para el patio de maniobras [2]



\*Excluding the empty triangles at each end.

Con respecto al Patio de Maniobras (PM), su dimensionamiento contempla las características inherentes al medio de carga que atraque en el CD, Número de muelles requeridos en la hora pico de máximo movimiento de carga; Decisión sobre la ubicación de las zonas de carga y descarga (Orientación del flujo de materiales: NdA tipo I o NdA tipo

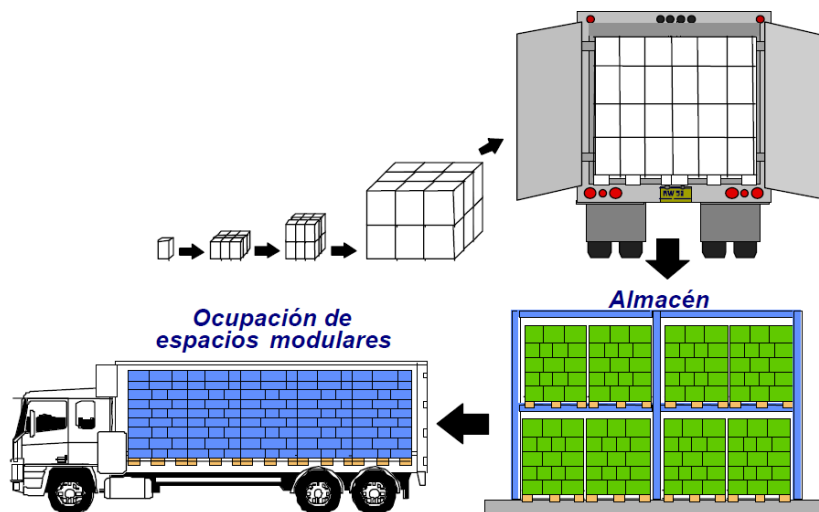
<sup>13</sup> Figura adaptado por el autor de la presente investigación del slide de presentación técnica almaceno. Documento alojado en la pagina web principal de Industrias CENO S.A. Recuperado el 1 de mayo de 2012, de [http://www.industriasceno.com/pdf/PRESENTACION\\_TECNICA\\_ALMACENO.pdf](http://www.industriasceno.com/pdf/PRESENTACION_TECNICA_ALMACENO.pdf)

U); Atendiendo al tipo de muelle diseñado para la operación de entrada y salidas de mercaderías de la NdA; entre otros aspectos a considerar dentro del diseño del CD [2, 67, 84, 93].

En la actualidad, los expertos en esta área de la logística han establecido que un buen indicador de la eficiencia operacional del CD, deberá cifrarse en tres punto cuatro toneladas por hora-operario, con relación a la hora de mayor movimiento de carga (hora pico) por parte del equipo de colaboradores adscritos a la zona de carga o descarga de mercaderías [2, 67, 75, 84, 93].

**3.2.7 Manejo de la UCE por parte de los agentes de la CS.** Está constituida por una agrupación de productos que sirve para facilitar el transporte, almacenaje y manipulación de las unidades de consumo, normalmente esta agrupación se conoce en el medio de la logística como SKU. Asimismo, la Unidad de Carga (UC) es eficiente cuando su configuración optimiza el transporte, almacenaje y manipulación entre dos agentes consecutivos de la CS, situación que se da a través del proceso de negociación concertado entre los mismos (véase figura 3-12) [3, 105<sup>14</sup>].

Figura 3-12: Cubicaje de la UCE<sup>15</sup>

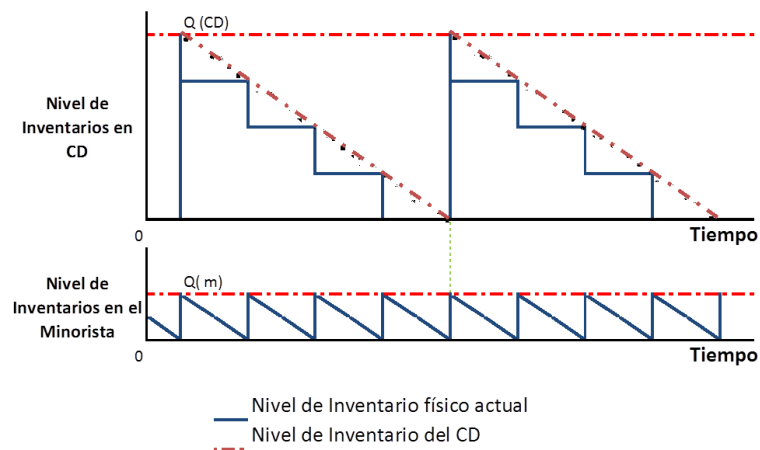


<sup>14</sup> CCI, y UANDES. (2003). "Sistema Modular de Formulación en Gestión de Compras y Aprovisionamiento Internacionales". Modulo 11: Gestión de Existencias y Almacenes. Bogotá D.C. (Colombia). Publicado por Centro de Comercio Internacional.

<sup>15</sup> AECOC GS1 ESPAÑA. (2001). Recomendaciones AECOC para la logística (RAL). Parte II: Envases, embalajes y manipulación de productos en la cadena distributiva. Documento no publicado. Recuperado el 20 de enero de 2006, de [http://jpisla.es/Biblioteca\\_y\\_descargas.html](http://jpisla.es/Biblioteca_y_descargas.html)

Son diversos los mecanismos utilizados por las firmas miembros de una misma CS para lograr procesos eficientes de coordinación bajo un esquema Buyer-Supplier que involucre a la UCE como elemento decisor [53]. Se destacan como los modelos de negociación coordinados de la UCE más relevantes los de carácter económico y los relacionados con los acuerdos de colaboración empresarial [75]. Los primeros tienden a motivar de manera más "fácil" la adopción permanente de estrategias de negociación específicas de la UCE por parte de los agentes miembros de la CS, entre tanto, los segundos buscan facilitar la gestión y control de los inventarios de los SKU que hacen parte de la UCE (véase figura 3-13) [53, 75].

Figura 3-13: Esquema de negociación coordinada de la UCE<sup>16</sup>



### 3.2.8 Parámetros básicos de diseño para el layout de una NdA.

Como se ha venido tratando a lo largo de esta memoria, es en este apartado donde se hace vivo el verdadero objeto de esta investigación, ya que le incorpora los lineamientos de tipo de DSP pertenecientes al campo de la ingeniería industrial relacionados con el cumplimiento de los parámetros de confort, seguridad industrial, conectividad y uso racional de la energía a nivel del desarrollo y evaluación de PITIA con especificidad en instalaciones industriales destinadas al bodegaje de productos no perecederos.

Es decir, el diseño espacial de una NdA para productos no perecederos deberá cumplir con los siguientes aspectos [75, 78]: i) Estudiar el producto que va ser almacenado, a nivel de cubicaje, peso, volumen,

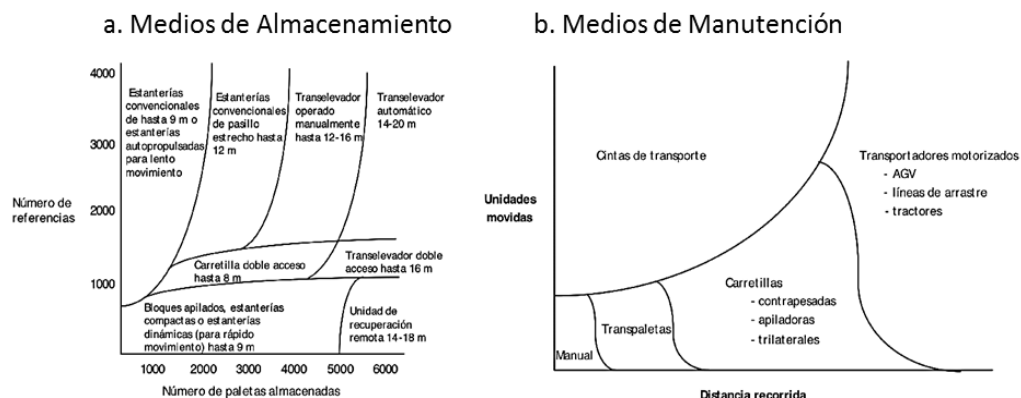
<sup>16</sup> Tomado de los slide suministrados en la clase de logística direccionada por el maestro Ing. Wilson Adarme Jaimes, PhD, asignatura tomada en el II Semestre de 2009.

tamaño de lote máximo y mínimo, frecuencia de pedido, ACVP, manejo de su SKU, trazabilidad del índice de consumo en términos de SKU, entre otras características; ii) El ancho de los pasillos secundarios y principales al interior del CD; iii) La accesibilidad al producto; iv) El número de veces que se manipula el producto, previo al despacho; v) La calidad del picking (tiempo de respuesta e inconsistencias del proceso de recogida frente a las solicitudes de pedido por parte del cliente o socio estratégico); vi) La interacción con los sistemas de información y tecnología; y vii) Niveles de productividad (uso del algoritmo de almacenamiento).

A continuación se desarrolla los esquemas de diseño grueso de la NdA, buscando la mantención de las premisas citas en el capítulo 2 de esta memoria de grado de maestría en torno a los principios y reglas de DSP, para lo cual se considera como punto de partida los siguientes procesos de planificación del emplazamiento del CD [12, 20, 75, 78]:

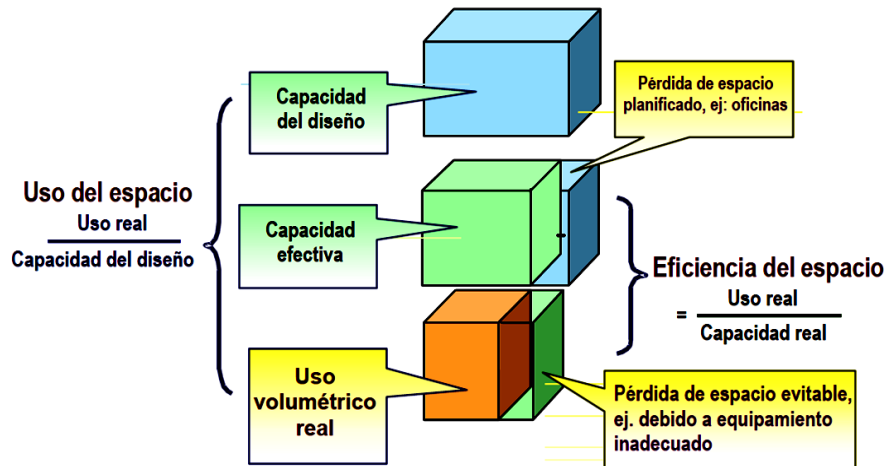
- ❖ Clasificación ABC más D del inventario que es administrado por el área de la logística de almacenamiento, esta actividad permite reducir hasta en un 50% el área de bodegaje de la NdA [66].
- ❖ Una vez agotado el paso anterior se deberá proceder a cuantificar el inventario máximo proyectado para los productos que fueron clasificados como ABD por familia, atendiendo desde luego a los deseos de la administración entorno a la política de bodegaje, a los procesos de coordinación, entre otras consideraciones [65].
- ❖ Cubicar la UCE de almacenamiento para los productos analizados en el paso anterior, conservando la relación volumen-peso que facilite el movimiento de carga a gran altura al interior del área de bodegaje del CD [75] (véase figura 3-14).

Figura 3-14: Guía para la selección de medios para el CD [24]



- ❖ *Desarrollado el proceso anterior en su totalidad, el planificador de la NdA deberá proceder a cuantificar la cantidad necesaria de posiciones de almacenamiento que garantice el 85% de uso del cubo de la zona de bodegaje del CD (véase la figura 3-15) [24].*

Figura 3-15: Uso y eficiencia del cubicaje del CD [105]



*Este paso garantiza la cuantificación del área de almacenamiento, la cual está conformada por la superficie requerida por las bahías de almacenamiento y la zona necesaria para el movimiento de carga y colaboradores (pasillos secundarios y pasillos principales) [12, 75, 78, 85].*

- ❖ *Posteriormente, el planificador del DSP deberá orientar las bahías de almacenamiento con el objeto de reducir los costos logísticos asociados a esta actividad (véase la figura 3-14), seguidamente zonificará el área de bodegaje para minimizar los tiempos de respuesta pactados con sus socios estratégicos, desarrollará un protocolo de ubicación de la UCE al interior de esta área mediante el uso de metodologías de tipo COI [11, 35, 75] y apoyada por el algoritmo de almacenamiento (Flujo de Entrada-Flujo de Salida-Flujo de Removibles) [103].*
- ❖ *En último lugar, determinará el emplazamiento total de la NdA cuantificando las áreas de las zonas relacionadas con el bodegaje multiplicado esta por dos o tres [74], y las demás áreas serán cuantificadas en función a parámetros internacionales de diseño enunciados en la literatura propia del DSP y de la logística de almacenamiento [67, 84, 93].*

## 4. Diseño Metodológico de Trabajo

*Para esta propuesta de investigación, una metodología debe ser clara, concisa, precisa y de fácil entendimiento para quien la pretende utilizar en un momento dado. Así mismo, es una colección de procedimientos, técnicas, herramientas y documentos soporte, que garantizan al usuario ahorros en tiempo y recursos durante el ciclo PHVA del proyecto inmobiliario de tipo industrial auto-sostenibles (PITIA) [32, 40, 80, 89].*

*Por su parte, esta propuesta de trabajo para responder a los problemas que afronta la SCM en términos de visibilidad ambiental se fundamenta, entre otras fuentes, sobre una ya larga tradición de enfoques y planteamientos procedentes del campo del DSP, la mejora de la NdA en términos de capacidad vs operatividad y, más en general, en el uso racional del cubo de almacenamiento previa negociación de la UCE entre los agentes logísticos. Así, la Gerencia de Proyectos Agiles (GPA), la Gestión del Cocimiento (GC) e incluso el concepto de Edificio Inteligente (EI) coinciden en una concepción del cambio en el proceso de planificación del PITIA. Toda esta línea de investigación se ha identificado también con el principio de incrementar la autonomía del planificador de edificios industriales para el almacenamiento de productos no perecederos en el marco de la política nacional logística aún más global de descongestión progresiva y profunda de las plataformas logísticas. Por más que todo ello trascienda el propósito de esta investigación, no está de más citar las definiciones adoptadas por la presente propuesta metodológica en torno a estos fundamentos, las cuales se describen del siguiente modo:*

- ❖ *Un EI es aquella Instalación Industrial capaz de Integrar, Sincronizar y coordinar los principios del diseño Arquitectónico*

*bioclimático de tipo modular totalmente flexible y funcional con los principios Inmóticos, que garantice una mayor eficacia operativa de sus usuarios en sus lugares de trabajo y, por consiguiente, una mayor productividad, al satisfacer sus requerimientos presentes y futuros de bienestar [45, 91].*

- ❖ En cuanto a la GPA [14, 17, 29, 89] se utiliza para equilibrar el exceso de diseño con su correspondiente carencia, se intentara que el diseño del sistema productivo total o parcial no se convierta en una carga para los planificadores de dichos sistemas, y a su vez, sea suficiente para documentar al mismo, a través, de intentar promover procesos ligeros de planificación, evaluación y control de proyectos inmobiliarios auto-sostenibles dirigidos al sector manufacturero de productos no perecederos, siguiendo los criterios que a continuación se citan: i) Debe ayudar al planificador a generar un Diseño Modular Auto-sostenible con un alto grado de Flexibilidad y Funcionabilidad; ii) Debe cumplir únicamente con su propósito y no más; iii) Debe ser comprensible para los planificadores de edificios industriales; iv) Debe ser lo suficientemente precisa; v) Debe ser lo suficientemente consistente; vi) Debe ser lo suficientemente detallado su layout; y vii) Tan simple como sea posible.*
  
- ❖ La GC [47, 49, 86] representa la cultura empresarial para integrar colectivos con capacidad para compartir información, experiencias y conocimientos relacionados con: i) La modelación de las variables de demanda y oferta para un servicio en particular; ii) El diseño y estandarización de los procesos del sistema productivo; y iii) El diseño de indicadores que midan los resultados e impactos del PITIA durante sus fases de planificación ex ante, durante y ex post.*

*Con todo lo dicho hasta este momento, sedara inicio a la nueva formulación Metodológica general para el Emplazamiento Inmótico para Naves de Almacenamiento Auto-sostenible de carácter Ágil (MEINASA), la cual será redactada en un lenguaje técnico tan simple como sea posible, sin llegar a constituirse en un modelado tan prescriptivo y mucho menos se pretende que sea un recetario de diseño de NdA eco-eficientes de tipo modular al punto que no genera documentación innecesaria, ya que se apoyara en la normatividad existente a nivel mundial tendiente a mitigar el impacto ambiental por parte del sector inmobiliario, los procesos documentados científicamente serán incluidos mediante referencias bibliográficas buscando mantener su propia*



identidad y a su vez permite la toma de decisiones por parte del planificador, ejecutor, evaluador y controlador de la misma, bajo el prisma de su experticia sin causar pérdida de los principios inmutables, flexibilidad y funcionalidad del edificio industrial [4, 5, 6, 42].

## 4.1 Características de MEINASA

- ❖ **Es de tipo inductiva incompleta.** El PITIA se planifica a partir del cálculo detallado del área de bodegaje apoyado en métodos empíricos de diseño hasta lograr la definición total de especificaciones del edificio industrial mediante el uso de datos experimentales de carácter universal.
- ❖ **Tiene una perspectiva holística.** Esto es que considera al PITIA desde su concepción hasta su uso como un todo.
- ❖ **Flexibilidad.** Posibilidad de modificar lo ya previsto en el diseño inicial del PITIA.
- ❖ **Sensibilidad estratégica.** Apoya la flexibilidad del PITIA desde su inicio partiendo de las características de la audiencia a la que va dirigido el mismo.
- ❖ **Desarrollo Visual.** Proporciona un nivel alto de abstracción, y da facilidad de crear nuevos diseños de emplazamientos y mantener los existentes.
- ❖ **Finalización de la Integración del Desarrollo del Ciclo de Vida.** Proporciona un desarrollo de alternativas de operatividad del emplazamiento y semántica del edificio industrial capturado y organizado en maquetas virtuales propias del PITIA.
- ❖ **Extensible.** Hace referencia a la integración entre el diseño del layout de la NdA con el uso de modelos matemáticos propios del DSP, tales como: exactos, heurísticas, metaheurísticas, entre otros.
- ❖ **La base está en la intuición.** Los procesos de gestión del PITIA es de naturaleza flexible, evolucionaría y recursiva.

- ❖ **Apertura.** *Permite incorporar nuevos elementos en función de los hallazgos que no se habían previsto dentro del PITIA preliminar.*
- ❖ **Referencialidad (No prescriptividad).** *Materializa todo lo dicho anteriormente de manera permanente. Considera a la memoria del PITIA como un referente orientador y no como una pauta de cumplimiento obligatorio.*

## **4.2 Criterios de cientificidad MEINASA**

- ❖ **Credibilidad.** *Los resultados corresponden a los procesos de formulación y desarrollo en ambiente lean para PITIA y no al sesgo del investigador de la presente investigación.*
- ❖ **Transferibilidad.** *Hace referencia al grado en que el auditorio meta para esta investigación es representativo del universo para extender los resultados obtenidos.*
- ❖ **Ser confiable.** *Admite el mejoramiento de esta herramienta de trabajo mediante el uso de métodos empíricos, tales como, la triangulación y la auditoría de expertos temáticos.*
- ❖ **Confortabilidad.** *Permite captar el mundo sin prejuicios, ya que se puede acceder a los resultados para confirmar la veracidad de los datos empleados y/o obtenidos del PITIA durante su proceso de planificación y gestión, previa revisión de la calidad de las transcripciones.*
- ❖ **Digna de confianza.** *Se alcanza con el cumplimiento en su totalidad de los criterios anteriormente citados, y contemplando en su formulación los siguientes aspectos: i) Explicitar la recogida de los datos; ii) Reconocer sesgos en su formulación; iii) Se documentan los procesos de decisión; iv) Se ejemplifica por medio de sus datos; v) Se evalúa la garantía de las fuentes de información; vi) Se triangula los datos experimentales con los generados por los expertos; vii) Retroalimentación con la audiencia meta; y viii) Apertura a posibles cambios.*

## **4.3 Procesos que engloban a MEINASA**

Los procesos por los que pasa MEINASA están permeadas por los principios rectores del diseño, la ejecución y la evaluación de proyectos ágiles auto-sostenibles [40, 72, 89], lo que hace de esta metodología una herramienta de trabajo que ayuda al planificador de instalaciones industriales destinadas al almacenamiento para pensar sin quitar su creatividad, los cuales se describen a continuación:

**4.3.1 Integración de los Stakeholders al PITIA.** MEINASA contempla como factor importante la participación de los principales interesados desde el inicio del proceso del bodegaje, por lo tanto identificar los agentes y entes que pudieran estar relacionado con esta macro-operación de la CS de productos no perecederos directa o indirectamente, con el objeto de analizar sus dinámicas y reacciones frente al avance del PITIA, permitirá darle mayor objetividad al proceso de planificación e incita a la generación de acuerdos entre los agentes involucrados en la operación. Este proceso contempla el desarrollo de las siguientes actividades:

- ❖ **Actividad No 1: Identificar los involucrados con la logística del abasto.** Esto significa conocer qué agentes de la CS y entes se movilizarán con relación al PITIA, no sólo se deberá contemplar la situación actual, sino que también se deberá considerar su prospectiva. Es conveniente desarrollar un checklist de actores, la cual se puede generar a partir del conocimiento del grupo que está haciendo la planificación del PITIA o, mediante el empleo de herramientas de análisis de relaciones de tipo gráfico en concordancia con el diseño del PITIA.
- ❖ **Actividad No 2: Clasificar los involucrados con la logística del abasto.** Implica agrupar a los involucrados con el PITIA de acuerdo a ciertas características generales, tales como: i) Si son entes de control, agentes de la logística directa o de la logística de reversa de la CS, consultores en almacenamiento u compañías de financiamiento públicas o privadas, entre otros; y ii) la relación que tengan con el PITIA: Contratistas, beneficiarios y usuarios. Se hace evidente que algunas de las categorías en que pueden ser agrupados los involucrados con el desarrollo del PITIA podrían tener una relación parecida en términos de tratamiento.
- ❖ **Actividad No 3: Posicionar y caracterizar a los interesados con la logística del abasto.** Definir para cada involucrado, su

posición, fuerza e intensidad frente al PITIA. En otras palabras más específica: i) Definir la posición del stakeholder permitirá establecer cuál es la contribución u grado de oposición que tendrá entorno a las fases por las que atraviesa el ciclo de vida del PITIA, a tal punto de poder conocer su alternativa de propuesta frente a la dificultad de los abastos que afronta la CS; ii) Definir la fuerza de acuerdo al interesado está relacionado con el poder que tiene este último para afectar en forma positiva o negativamente al PITIA, es decir, la importancia que el involucrado tiene para el PITIA; y iii) Definir la intensidad permitirá establecer el grado de involucramiento que el interesado tendrá con el PITIA, es decir, establecer el grado de importancia que el involucrado le da al PITIA.

- ❖ **Actividad No 4: Identificación, análisis y selección con los interesados en la logística del abasto.** De acuerdo con la fuerza e intensidad evidenciada previamente en función de los intereses, influencia política, potencialidades y limitaciones que poseen cada uno de los stakeholders en torno a la formulación y desarrollo del PITIA, se deberán diseñar una serie de estrategias tendientes a lograr su participación en la identificación, análisis y selección del perfil del PITIA objetivo, como también, las alternativas de solución. Para ello MEINASA emplea técnicas de participación, tales como: Lluvia de Ideas, Técnica FODA, Técnica DRAFPO, Técnica de Grupo Nominal, Técnica Delphi, Método EASW, Núcleos de Intervención Participativa, entre otras [47].
- ❖ **Actividad No 5: Acordar los canales de comunicación con los interesados en la logística del abasto.** Consiste en establecer a través de qué medios se canalizara la información requerida y generada durante las etapas de planificación y ejecución del PITIA.
- ❖ **Actividad No 6: Establecer el cronograma de reuniones de trabajo con los interesados en la logística del abasto.** Hace referencia a las fecha de encuentro para socializar los avances del PITIA. Esta actividad busca que las comunicaciones relacionadas con los procesos de toma de decisiones se hagan bajo el lema "Las comunicaciones cara a cara son las mejores", situación que busca: i) Dar la bienvenida a los cambios que puedan ocurrir durante la etapa de desarrollo del PITIA; ii) Atención continua a la excelencia y al buen diseño de la solución; iii) Simplicidad de las etapas de desarrollo del PITIA; iv) Promover continuamente el

*desarrollo sostenible; v) Las mejores estrategias, requerimientos y diseños emergen de los stakeholders auto-organizados; y vi) Introspección, los stakeholders deben regularmente hacerse una revisión hacia sí mismos y sus procesos de participación para intentar mejorar la toma de decisiones del PITIA.*

**4.3.2 El análisis al problema del almacenamiento.** *Para asegurar un buen análisis es necesario, en primer lugar, conocer las dificultades que afronta el sistema de almacenamiento en consideración. Esto es, identificar plenamente las falencias en términos de confort, seguridad industrial, conectividad y uso racional de la energía para poder proponer alternativas de solución conducentes a dar una respuesta inteligente a ese requerimiento. Hacer una buena identificación del problema de almacenamiento es determinante para un buen resultado del PITIA, ya que a partir de esto se establece toda la estrategia que implica la preparación del mismo. No se puede llegar a la solución satisfactoria de un problema si no se hace primero el esfuerzo por conocerlo razonablemente. En este sentido, las actividades a desplegar en este proceso son:*

- ❖ **Actividad No 1: Definir el perfil central a estudiar.** *Dada la manifestación de una situación problema en almacenamiento por parte de la administración del CD: hay que analizar e identificar lo que se considere como perfil principal para la formulación y desarrollo del PITIA. Esto debido a la razón de ser del bodegaje para los miembros de una misma CS, brindar un nivel de servicio al cliente con una efectividad en cuanto a costos.*

*En términos de análisis MEINASA emplea las siete herramientas básicas de Ishikawa para establecer cuál es, a juicio del grupo de planificadores, el perfil central del PITIA que afecta la capacidad y la operatividad del CD objeto de análisis. En esto lo que se aplica son los criterios de prioridad y selectividad, para lo cual el diseñador del sistema de almacenamiento deberá: i) Formular el perfil central del PITIA en estado negativo; ii) Centrar el análisis causa-efecto en torno a un solo perfil central, situación que permitirá al equipo planificador acotar el proceso de análisis y ser más efectivos en recomendar soluciones; iii) No confundir el perfil del PITIA con la ausencia de una solución. No es lo mismo decir falta un CD (falta de solución), que decir que existe "Un déficit de posiciones de almacenamiento" en un CD específico (problema); iv) Análisis de nodos críticos; y v) Matriz de incidencias.*

- ❖ **Actividad No 2: Definir los efectos más relevantes para el perfil meta.** *Se trata de tener una idea del orden y gravedad de las consecuencias que tiene el perfil que se ha detectado lo cual hace que se amerite la búsqueda de alternativas de soluciones. Para ello se emplea el mapa de efectos, con el objeto de poder establecer la importancia que posee el perfil del PITIA para los interesados que amerite el planteamiento de una solución, para lo cual se procederá al desarrollo de un análisis de causalidad.*
  
- ❖ **Actividad No 3: Identificar las causas que dan origen al perfil meta.** *Se trata de resolver analíticamente las últimas causales del encadenamiento que dieron origen al perfil del PITIA, con el objeto de superar de forma positiva la condición negativa formulada. Para ello se emplea el mapa de causalidad, con el objeto de poder detectar el máximo de causalidades, que permitan al grupo planificador estarán más cerca de las posibles soluciones que se deben identificar para superar la condición restrictiva que se ha detectado en el perfil del PITIA.*
  
- ❖ **Actividad No 4: Diseño del mapa de perfil meta.** *Una vez que se han identificado las causas y efectos del perfil central del PITIA, el paso siguiente es integrarlas en un solo diagrama que lo represente como sistema a ser estudiado. Es necesario revisar la validez e integridad del mapa del perfil meta de forma continua y permanente por parte del equipo planificador. En otras palabras, se busca garantizar que las causas sean realmente causas y los efectos representen efectos, que el perfil central del PITIA este correctamente definido, así como las causalidades estén correctamente expresadas.*

*Es importante señalar que, en esta primera fase de preparación del PITIA, todos los esquemas de análisis empleados, además de apoyar el proceso de secuenciación de las fases a seguir en la postulación y posterior desarrollo de las alternativas de solución que pueden ser adoptadas por el PITIA, se deberán formular en términos de hipótesis de trabajo que puedan ser corroborados o rechazados en función del nivel de profundidad de los estudios requeridos para efficientar razonablemente al sistema de almacenamiento intervenido, incluyendo también la consulta a los stakeholders mediante el empleo de técnicas de participación.*

**4.3.3 Análisis a las metas perseguidas por el PITIA.** *Se busca establecer el propósito que dio origen al PITIA. Por lo tanto, constituye*

la tarea central de la planificación del almacenamiento. Se trata de un proceso lógico que busca traducir en palabras precisas la esencia del PITIA. En últimas, el análisis consiste en identificar directrices para la acción, ello consiguen expresar el porqué, el para qué y el cómo del PITIA propuesto para finalmente escoger un curso de acción. Este proceso consta de las siguientes actividades:

- ❖ **Actividad No 1: Elaborar el mapa de propósitos.** Consiste en convertir las condiciones anómalas del mapa de perfil meta a condiciones deseables y viables de ser realizables. En otras palabras, esta actividad consiste en trocar todas las causas consideradas en el mapa de perfil meta en medios en el mapa de propósitos, los que eran efectos se transforman en fines y lo que era el perfil central se pasa a ser el objetivo general del PITIA. Así mismo, es conviene decir que la importancia que tiene esta actividad en sí, radica en que de esta se deben generar como producto las alternativas de solución para superar esta situación problemática.
- ❖ **Actividad No 2: Asegurar la confiabilidad del mapa de propósitos.** Consiste en examinar las relaciones formalizadas en la actividad anterior entre medios y fines sean válidas. Es decir, si durante el proceso de pasar del diagrama de perfiles al de metas se evidencian inconsistencias se hace necesario volver a examinar su planimetría para detectar las falencias que se pudieran haber concebido durante dicho proceso. De ser necesario, pueden modificarse las formulaciones que no se consideren correctas, agregar nuevos propósitos que se consideren relevantes y no estaban incluidos y eliminar aquellos que no son consistentes con la efectividad meta deseada.

A partir del proceso que se cita a continuación se da inicio a la formulación del quehacer que le dará solución al PITIA planteado, para esto se debe utilizar como herramienta el mapa de propósitos con el fin de buscar de forma creativa, un esquema de trabajo que permita llevarlo a la práctica de forma efectiva. Para ello se deberá desarrollar concatenadamente los procesos que a continuación se nombran: viabilidad comercial, viabilidad técnica y viabilidad económica financiera.

**4.3.4 Viabilidad Comercial del PITIA.** Una vez definida la meta deseada del PITIA, el equipo planificador planteado deberá estimar el nivel de ventas proyectadas que será atendido una vez entre en

*operación el sistema de almacenamiento estudiado. Para ello se deberá ejecutar las actividades que se citan a continuación:*

- ❖ **Actividad No 1: Definir la UCE.** *Consiste en ubicar el producto para quien se desarrolla el estudio en consideración que garantice la rentabilidad para los agentes interesados con el PITIA. En esta actividad el equipo planificador deberá seguir los lineamientos universalmente aceptados para el diseño de los SKU, los cuales se constituyen en la pieza clave para modularizar el empaque terciario del producto en cuestión, que a su vez se constituye en el punto de partida del diseño de la NdA (véase anexo A).*
- ❖ **Actividad No 2: Desarrollar los procesos de coordinación de existencias.** *Esta actividad involucra a los interesados con el diseño definitivo de la UCE. Esta situación se da a través del desarrollo de los procesos de negociación entre los agentes frente a la administración de los inventarios que pueden ser manejados por los mismos.*

*La cuantificación económica de los costos conjuntos se establece mediante el desarrollo de los esquemas de negociación conocidos por los expertos en CS como: i) Acuerdos de colaboración empresarial; y ii) Modelos de coordinación de tipo económico.*

- ❖ **Actividad No 3: Estudio de la demanda meta.** *Una vez definida en su totalidad la actividad anterior se deberá pasar a concertar los aspectos que son comunes para los agentes en función de la administración de la demanda, como son: i) Horizonte de planificación de ventas; ii) Técnica de previsión de ventas; iii) Índice de ajuste al pronóstico; iv) Tiempo de respuesta; y v) Capacidad de almacenamiento.*
- ❖ **Actividad No 4: Estudio de la oferta del servicio.** *Consiste en identificar con qué sistemas de: i) Mantenimiento y almacenamiento de materiales; y ii) WMS, puede viabilizarse la operatividad de la NdA una vez culminada en su totalidad la actividad mencionada en el paso atrás. Además, se deberá fijar la estrategia integradora de largo plazo para la dupla Supplier-Buyer.*

**4.3.5 Viabilidad Técnica del PITIA.** *Se trata de definir el layout de la NdA que optimice la utilización del cubo de almacenamiento. Para ello se deberá desarrollar las actividades que a continuación se describen:*



- ❖ **Actividad No 1: Priorizar el almacenamiento.** Consiste en clasificar el inventario de los productos administrados por el CD, en función de los siguientes criterios de decisión: i) Nivel de inversión en inventarios; ii) Volumen de ventas; iii) Riesgo asociado al inventario; y iv) Costos de oportunidad por poseer un nivel apropiado de inventarios. Para ello MEINASA aplica en este proceso decisorio herramientas prospectivas gerenciales, tales como: matriz de impacto cruzado, matriz Z, entre otras. En últimas, el objetivo que persigue esta actividad es el de poder identificar que productos son rutinarios (clasificación ABC de inventarios) y que productos son especiales (inventarios tipo D).
  
- ❖ **Actividad No 2: Establecer el nivel de servicio al cliente.** Una vez desarrollada la actividad anterior se procede a cuantificar físicamente el inventario máximo proyectado de los productos clasificados como: tipo A, tipo B y tipo D, los cuales se constituyen en Esta cuantificación, obedecerá a las siguientes decisiones previas: i) UCE negociada en el proceso anterior; ii) tiempo de respuesta pactado en el proceso anterior; iii) Al nivel de inventario de seguridad deseado por la organización; y iv) Atendiendo a la política de abastecimiento adoptada por la organización.
  
- ❖ **Actividad No 3: Modularización del área de bodegaje de la NdA.** Consiste en cuantificar los metros cúbicos requeridos en el área de almacenamiento del CD. Para este fin se deberá atender a los siguientes requisitos de DSP de almacenamiento: i) Homogenizar las posiciones de almacenamiento; ii) cuantificar físicamente el sistema de almacenamiento y manutención que sea pertinente y técnicamente viable; iii) Establecer la altura optima del área de bodegaje; iv) Dimensionar el ancho del pasillo principal y secundario; v) Determinar el número de bahías requeridas por el sistema; y vi) Establecer el área total de bodegaje.
  
- ❖ **Actividad No 4: Dimensionar el área total de la NdA.** Una vez cuantificada el área de bodegaje se proyecta en función de esta las áreas relacionadas con la operación en sí, tales como: i) Zona de picking; ii) Zona de packing; iii) Zona para la recepción y expedición de pedidos; y iv) Zona de consolidación de pedidos. Además, se deberá adicionar las áreas auxiliares que deberán ser cuantificadas de acuerdo con su finalidad funcional, como son: i) Cafetería; ii) Vestidores; ii) Bateria de baños; iii) Zona para carga

de baterías de las carretillas; iv) Cuarentena de productos; v) Zona dedicada a la logística de reversa; vi) Entre otras.

- ❖ **Actividad No 5: Diseño del emplazamiento de la NdA.** En esta actividad se desarrolla el ordenamiento espacial de las áreas que conforman el CD, tales como: i) Administración; ii) Operacional; iii) Auxiliares; entre otras. Este proceso se soporta en el principio de optimización de espacios denominado la mínima distancia entre los elementos anteriormente citados. En el mismo sentido, se deberá dar cumplimiento a las limitaciones técnicas que posea el emplazamiento y a la orientación de la distribución física de la NdA.
- ❖ **Actividad No 6: Diseño del emplazamiento de la zona de bodegaje del CD.** Consiste en establecer la mejor disposición de los elementos del sistema de almacenamiento potencialmente elegible desde el punto de vista de capacidad de almacenamiento, densidad del inventario, accesibilidad al inventario y rendimiento por  $m^3$ -t/unidad de almacenamiento. Este estudio contempla las siguientes fases: i) Proporción de la zona de almacenamiento; ii) Orientación de las bahías de almacenamiento; iii) Priorización del inventario por zonas de almacenamiento; iv) Rotación del inventario; v) La calidad de la recolección del pedido; vi) La interacción con el WMS y tecnología implementada; vii) Ubicación del inventario atendiendo a conceptos de tamaño, volumen, complementariedad y compatibilidad; viii) Disposición física de la NdA; y ix) Reglas prácticas de diseño físico de NdA.
- ❖ **Actividad No 7: Acondicionamiento inmotico del CD.** Esta actividad está relacionada con los requerimientos demandados por las personas que usan en forma habitual el edificio industrial en términos de confort, seguridad industrial, conectividad y uso racional de la energía.
- ❖ **Actividad No 8: Validación del layout obtenido para el PITIA.** Consiste en ajustar el diseño definitivo del CD mediante el uso de la ecuación aurea de la arquitectura, con el objeto de poder dimensionar el terreno necesario para desarrollar la función empresarial de almacenamiento sin menos cavar el good will de la localización de la NdA de por lo menos cincuenta años, duración que va en la misma dirección de la vida útil de una instalación industrial.

*Esta actividad contempla adicionalmente el dimensionamiento de las siguientes áreas del edificio industrial: i) Área de patio de maniobras; ii) Vías vehiculares; iii) Vías peatonales; iv) Ciclo ruta; v) Zona de parqueaderos vehiculares; vi) Zona de estacionamiento de bicicletas; vii) Portería; viii) Encerramiento del terreno; entre otras áreas.*

**4.3.6 Viabilidad Económica Financiera del TIPIA.** *El objetivo de este proceso es ordenar la información monetaria que se ha generado en todas las etapas por las que ha pasado la formulación de alternativas para determinar la rentabilidad del PITIA.*

*El estudio de la viabilidad financiera tiene por objetivo la de verificar si existe suficiente dinero para financiar los gastos e inversiones que implica la puesta en marcha y operación del PITIA. Es decir, aquellas alternativas de inversión con alta rentabilidad, con un riesgo razonable y que evidencien un proceso de evaluación bien concebido, tienen asociada una cierta facilidad para encontrar fuentes de financiamiento a las que puede acceder el PITIA.*

*Por lo general, el estudio de la viabilidad económica no es otra cosa que la evaluación del PITIA. En este punto se evalúa la factibilidad y la optimalidad de las alternativas consideradas durante la planificación del proyecto. Para ello, este proceso utiliza diversos indicadores, siendo los más empleados el Valor Presente Neto Ajustado (VPNA) y la Tasa Verdadera de Rentabilidad (TVR) en la actualidad, también se puede usar la razón Beneficio Costo (B/C), indicadores de Costo Efectividad o de Período de Recuperación de la Inversión.*

*En esta parte se cuantifica los ítems de inversiones, de ingresos de operación, los costos de operación, los impuestos, depreciación, entre otros. Con estos ítems ordenados se construyen los flujos netos de ingresos futuros, que son el insumo básico utilizado en la evaluación económica del PITIA. Para ello se deberá desarrollar las actividades que a continuación se describen:*

- ❖ **Actividad No 1: Cuantificación del plan de inversiones.** *Para cada una de las estrategias de almacenamiento propuestas se deberá evaluar el nivel de inversión requerida para su realización. En otras palabras, se deberá planificar las inversiones de largo plazo y los costos asociados con la operación de almacenamiento de mediano y corto plazo.*

- ❖ **Actividad No 2: Preselección de alternativas de solución.** Se fundamenta en la satisfacción de la meta de almacenamiento que persigue la administración a un costo razonable, entendido este último en función de: i) La posición de almacenamiento; y ii) La UCE de almacenamiento.
- ❖ **Actividad No 3: Formulación del flujo de caja descontado.** Este paso será desarrollado únicamente para las estrategias de almacenamiento seleccionadas en la actividad anterior.
- ❖ **Actividad No 4: Evaluación de las alternativas de solución.** Cada una de las opciones de solución identificadas en la actividad anterior deberá ser examinada a nivel de aspectos, tales como: i) Viabilidad financiera y económica; ii) Análisis de riesgo; y iii) Análisis de sensibilidad.

*Finalmente, entre las alternativas que sean factibles y atendiendo los protocolos universalmente aceptados de evaluación de alternativas de inversión se escogerá aquella como óptima en términos de pertinencia, efectividad, eficiencia y eficacia para los interesados.*

## **5. Caso de Aplicación de MEINASA**

*En la actualidad el gobierno nacional con el beneplácito del sector empresarial privado colombiano está promoviendo e impulsando al país como un escenario ideal para generar una plataforma de fabricación y ensamble de vehículos de carga, pasajeros y autopartes destinados a abastecer el mercado doméstico y regional. Este sector económico representa para el país el 6,2% del PIB, emplea el 2,5% del personal ocupado dentro de la industria manufacturera y en el ranking de países latinoamericanos ocupa el quinto lugar como productor de automóviles [104]. En suma, Colombia tiene un parque automotor a 2010, según cifras del Ministerio de Transporte, excluidas las motocicletas, cercano a los 3,5 millones de unidades de vehículos, del cual el 57% aproximadamente son unidades importadas, con una edad promedio de 14 años [106].*

*La industria automotriz colombiana comprende la actividad de ensamblaje (vehículos ligeros, camiones, buses y motocicletas) y la fabricación de partes y piezas utilizadas en el ensamblaje para Original Equipment Manufacturer (OEM) y mercado de reposición, lo que involucra a proveedores de insumos de otras industrias como metalmecánica, petroquímicos (plásticos y cauchos) y textiles [107], empresas que tienen certificados sus procesos de gestión bajo normativa internacional como la QS 9000, TS-16949, EAQF, además que los bienes se fabrican bajo normas de producto como ISO, ASTM, CE, JIS, entre otras, cobijadas por la normativa privada de las grandes casas matrices de categoría mundial de construcción de vehículos para las cuales la industria autopartista colombiana es proveedor en Venezuela, Ecuador y en todo el territorio nacional, entre otras [108].*

*El origen de las inversiones en esta actividad económica proviene principalmente de la industria nacional, la cual atrae permanentemente inversiones de Estados Unidos, Japón, Francia, México, Brasil, Venezuela, que a su vez incluye asistencia técnica de productores de categoría mundial en lo que respecta a la manufactura de partes eléctricas, llantas, vidrio, partes de transmisión, entre otros productos [106]. Por su parte, los clientes de OEM pertenecientes al sector ensamblador de vehículos están, Chevrolet, Renault, Mazda, HINO, Ford, Toyota, Mitsubishi, tractores Kubota, entre otros [106].*

*Por su parte, la compañía MATROMOL SAS, con sede en la ciudad de Bogotá D.C. está a la vanguardia en la fabricación, ensamble y comercialización de lámparas y accesorios para uso automotriz, aprovisionando a las principales ensambladoras de automóviles con sede en Colombia (véase web: <http://www.matromol.com/es/> pestaña la compañía), y a su vez provee al mercado de reposición de autopartes en todo el territorio nacional y en varios lugares del mundo. Además, está reconocida por el sector real colombiano como un proveedor de servicio de inyección en plástico.*

*Este capítulo pretende dar a conocer los aspectos más relevantes de la compañía MATROMOL SAS, tales como: su evolución, organización, productos, clientes, procesos productivos, tecnologías utilizadas y en especial el estado actual del sistema de almacenamiento, tendiente a establecer UNA PROPUESTA DE DISEÑO FUTURISTA PARA ESTE SISTEMA LOGÍSTICO EN PARTICULAR que se adecue mejor con los procesos de gestión de la compañía y que a su vez contemple de forma adecuada las limitantes físicas del edificio que le permita adecuarlo bajo los lineamientos de confort, seguridad industrial, conectividad y uso racional de la energía, que le permita en el futuro mediático ser más competitiva en el mercado.*

## **5.1 Intervención a la compañía**

*El autor de la presente memoria de maestría, tomo como laboratorio de experimentación de MEINASA a la compañía MATROMOL SAS, motivado en el conocimiento que tiene de su proceso productivo, el cual se origina de su vinculación laboral como consultor en el área de Costos y Presupuestos con la compañía durante más de un quinquenio. Para caracterizar de forma general el estado actual de la compañía, aplico el*

*modelo de DIAGNOSTICO RAPIDO sugerido por PINKAS FLINT BLANCK en su libro GESTIÓN DE EMPRESAS EN CRISIS: Técnicas de Replotamiento, publicado por la Cámara de Comercio de Bogotá en 1995 (Véase apéndice A), del cual se puede concluir lo siguiente:*

*MATROMOL SAS experimenta una deficiencia administrativa cercana al 7.4% aproximadamente, la cual es equivalente a un riesgo operacional aproximado del 31.5% de que colapse debido a la carencia total o parcial de una: i) Preparación de estadísticas sobre ventas; ii) Revisión regular sobre la participación de la firma en el mercado meta; iii) Tendencias del mercado de los productos que son rentables para la compañía; iv) Exigencias de pautas a seguir por parte de la administración de cuentas claves; v) Base para tomar decisiones en publicidad; vi) Base para diseñar los canales de distribución; vii) Existencia de un procedimiento de planificación de la producción; viii) Posibilidad de anticipar posibles recursos restrictivos de capacidad; ix) política de manejo de personal en cuanto a aptitudes, intereses profesionales, entre otras; x) Vigilancia tecnológica sobre la evolución del mercado laboral; xi) Política de renovación tecnológica de los elementos productivos de la firma; xii) Previsión de la demanda; y xiii) Política de planificación financiera.*

*Para mitigar el nivel de riesgo operacional asociado con las incidencias antes mencionadas, se hace necesario intervenir el sistema productivo de MATROMOL en búsqueda de fortalezas, mediante la caracterización de sus elementos sistémicos más representativos para este estudio, los cuales se describen a continuación:*

**5.1.1 Reseña histórica de la compañía.** *MATROMOL SAS surgió como una nueva iniciativa empresarial hace más de tres décadas, la cual fue fundada por don Guillermo de Jesús Acosta González, quien rigió sus destinos hasta el primer trimestre del año 2011 momento en el cual falleció. Tiene por actividad económica la manufacturación, ensamble y comercialización de artículos metaloplásticos, además del suministro de troqueles y moldes metal mecánicos para la inyección de productos para el sector de auto partes.*

*Con el mismo propósito, al finalizar el siglo XX la compañía alcanzo la certificación en el sistema de gestión de calidad ISO 9001-ISO ISTS (véase página web: <http://www.matromol.com/es/>), lo que le ha permitido a la compañía afianzarse tanto, en el mercado nacional, como incursionar en el mercado de centro y sur América.*

*En síntesis, la alta dirección de la compañía ha logrado posicionarla en forma competitiva con éxito en el último quinquenio permitiéndole crear un valor ganado de aproximadamente 150.000 USD al día de hoy, sin tener que recurrir a la incorporación de capital extranjero para lograr su meta empresarial<sup>17</sup>.*

**5.1.2 Sistema orgánico de MATROMOL SAS.** *La compañía desarrolla su actividad económica a través de dos áreas funcionales bien definidas, a saber: la **técnica** y la **administrativa**. La primera de ellas se encarga de la logística de salida, al ofrecerles bienes terminados estandarizados y ajustados a sus necesidades, mientras que la segunda se encarga de la logística de entrada, con lo cual garantiza la gerencia general como la junta directiva, viabilidad sostenible para los sponsors como para los stakeholders (véase anexo D).*

*La anterior división del trabajo garantiza la generación de 59 puestos de trabajo directo, y más de un centenar de puestos indirectos en el sector de las autopartes a nivel local, regional, nacional e internacional. Por su parte, la cultura organizacional de la compañía se enmarca en su modelo de negocio fundamentado en un esquema tributario, arquitectura empresarial mono agente logístico y planeación estratégica (véase: <http://www.matromol.com/es/> pestaña Misión-visión).*

**5.1.3 Productos de MATROMOL SAS.** *Como ya se ha mencionado en párrafos anteriores, la compañía se dedica a la manufacturación de stops, lámparas, direccionales y accesorios para uso automotriz (véase página web: <http://www.matromol.com/es/> pestañas Línea Automotriz – línea Industrial). En el último quinquenio, la compañía ha ajustado su política de diseño de productos con el objeto de suplir los aspectos relacionados con la estética y a la satisfacción de las necesidades más sentidas de sus socios estratégicos emanadas de los requerimientos que en calidad demandan sus clientes. En otras palabras, el equipo de diseño de MATROMOL SAS emplea el método de despliegue de la función de calidad (QDF) como herramienta de generación y manutención de productos.*

*En el mismo sentido, el área de operaciones de la compañía apoya los procesos de diseño de nuevos productos amigables con el medio ambiente al desplegar la filosofía de manufactura flexible al interior de*

---

<sup>17</sup> *MATROMOL SAS como organización con ánimo de lucro tiene como principal meta la de ganar dinero, ahora y en el futuro, considerando los restantes objetivos como simples medios para conseguir dicha meta final.*



*sus procesos básicos de planificación, con la meta de identificar, predecir y mitigar en el corto plazo los costos innecesarios al simplificar el proceso productivo, permitiendo una fijación de precios más acordes con el mercado.*

*Por su parte, el área de compras evalúa en forma permanente a sus socios estratégicos aguas debajo de su CS, con el objeto de reducir a un número limitado sobre la base del cumplimiento de las principales variables asociadas con las entregas certificadas de pedidos de las últimas transacciones comerciales. Lo anterior se justifica, porque la compañía está en la búsqueda constante de la excelencia y para ello requiere establecer vínculos duraderos soportados en la colaboración y confianza mutuas, que permita considerarlos como una extensión más de la organización.*

*Para finiquitar con este apartado, se puede asegurar que la compañía en la última década ha logrado un volumen de facturación promedio de 1.529.590 USD por año con una desviación estándar de 427.414 USD por año, gracias al uso metodológico descrito en los párrafos anteriores para el diseño de productos y/o servicios, el cual el autor de la presente investigación la describe así: metodología para el diseño industrial con despliegue de la función de calidad y apoyada con relaciones de cofabricación.*

**5.1.4 Clientes de MATROMOL SAS.** *Nominalmente los clientes de la compañía son las ensambladoras, los carroceros, los almacenes de repuestos, talleres de mantenimiento, entre otros. Situación, que queda desvirtuada al analizar su esquema de distribución física, el cual, se desarrolla a través de una fuerza de venta especializada que opera como Administradores de Cuenta Clave, que son responsables de las siguientes actividades empresariales: i) Informar sobre el mercado; ii) Administrar el portafolio producto-cliente; iii) Aportar ideas creativas para el diseño y mejoramiento de Productos y/o servicios; y iv) Tasar el portafolio de asignaciones de recursos adjudicados para su gestión. Además, participar en la fijación y evolución de los objetivos de corto y largo plazo de la compañía.*

**5.1.5 Procesos productivos de MATROMOL SAS.** *La compañía desarrolla su actividad económica a través de la integración de proceso productivo, tales como: Inyección, troquelado, montaje, soldadura por ultrasonido, entre otros (véase web: [http://www.matromol.com/es/pestaña\\_proceso\\_productivo](http://www.matromol.com/es/pestaña_proceso_productivo)).*

*En lo referente al sistema de gestión de operaciones empleado para la administración del sistema productivo de MATROMOL se puede, decir que: i) El programa maestro de producción utilizado por el planificador del sistema administra los siguientes elementos: 1) La proyección de la demanda, y 2) El tamaño de los lotes de producto en curso y la cantidad de productos programados; ii) Las políticas adoptadas por la gerencia de operaciones de la compañía son: 1) Por pedido, y 2) Para inventariar. La primera política se utiliza para atender las necesidades de las ensambladoras y carrocerías, entre tanto, la segunda política se emplea para cubrir las necesidades del mercado de reposición; y ii) La estrategia de producción implementada por la subgerencia de operaciones de la compañía se fundamenta en los sistemas justo a tiempo combinado con una política de administración del inventario lote por lote.*

**5.1.6 Nivel tecnológico de MATROMOL SAS.** *Como ente jurídico que persigue lucro económico de origen lícito proveniente de actividades comerciales del sector autopartista, emplea para ello de los siguientes tipos de tecnología:*

- ❖ **Tecnología dura.** Hace referencia a las máquinas y equipos empleados por el área técnica de la compañía, a saber: Inyectoras, desarmadores neumáticos, mezcladoras, equipos de soldadura de punto, troqueladoras, pelacables, cubas para tratamiento térmico, entre otras.*
- ❖ **Tecnología blanda.** Hace referencia a las metodologías de trabajo utilizadas por parte de los miembros de la compañía para garantizar a sus clientes un control de calidad idóneo de sus productos, las cuales están avaladas por las compañías que se dedican al ensamblaje de vehículos. Además, cuenta con equipos especializados para el control de calidad.*
- ❖ **Tecnología incorporada.** Se refiere al conocimiento, instrucciones o capacitación que son necesarios para la operación y manejo de la maquinaria y equipos; dentro de la compañía se puede mencionar que el ente responsable de este tipo de tecnología es el área de aseguramiento de la calidad con la colaboración de los coordinadores de cada una de las áreas técnicas de la empresa y apoyada por entidades estatales y privadas como son: el sena, incontec, caja de compensación familiar, entidades de riesgos profesionales, instituciones de educación superior, entre otras entidades.*

- ❖ **Tecnología desincorporada.** Hace mención a los documentos usados por la empresa como son guías o manuales de operación o gestión empleados por los miembros de la organización para generar diferenciación con su competencia en todos los aspectos. Estos son: Manuales de calidad; Manuales de operación; Archivos contables; Archivos de control de producción; Archivos de control de calidad; Archivos de información de clientes; Archivos de información de proveedores; y Archivos de administración de inventarios.
- ❖ **Tecnología medular.** Hace referencia a la tecnología crítica o central para el funcionamiento de la empresa. Dentro de esta se encuentra: Modelo de manufactura para los productos de la compañía; Modelo de manufactura para los productos demandados por General Motors; Modelo de manufactura para los productos de mandados por Renault Sofasa; y Modelo de manufactura para los productos de mandados por Hino.
- ❖ **Tecnología complementaria.** Hace mención a las que soportan a la organización para lograr sus objetivos del negocio específico, tales como: manual de procedimientos para las funciones administrativas, eslabonamientos estratégicos, señales del mercado y el uso de decisiones estratégicas.

## **5.2 Estado del sistema de bodegaje de MATROMOL SAS**

*Para evaluar las condiciones actuales del sistema de almacenamiento que adopto la organización, se hará uso de MEINASA como herramienta diagnostica de las variables que lo describen a su mínima expresión de diseño basado en su operatividad a unos costos razonables, a saber:*

**5.2.1 Estado de la función logística en MATROMOL SAS.** *La compañía se encuentra en la actualidad en la etapa 1 de integración de la logística (véase figura 3-5). Esta etapa se caracteriza por el manejo aislado de las actividades relacionadas con el almacenaje, gestión de stocks, transporte, transmisión y tratamiento del pedido, entre otras. Por tal motivo el autor de la presente investigación vuelve a proponerle a la alta dirección de la compañía una estructura orgánica que*

contempla a la logística como otra función empresarial adicional al sistema (Véase apéndice B).

**5.2.2 Estado de la administración de la demanda en MATROMOL SAS.** Desde el año de 2005 la compañía cuenta con una metodología propia de proyección de la demanda, la cual fue construida de forma científica por el Ingeniero OSCAR PALACIO LEÓN, como consecuencia de su contratación como consultor del área de Costos y Presupuestos por parte de la gerencia general de MATROMOL. A pesar de haber sido socializada y documentada, no se ha podido poner en práctica debido a: i) La falta del área funcional en logística al interior de MATROMOL; ii) La resistencia al cambio del personal responsable de los procesos de planificación de la firma; y iii) La falta de un WMS que facilite su uso de forma masiva. Por todo lo anterior, el autor de la presente investigación vuelve a proponer a la alta dirección de la compañía esta metodología de trabajo (Véase apéndice C).

**5.2.3 Estado de la gestión de los inventarios en MATROMOL SAS.** Desde el año de 2005 la compañía cuenta con una metodología propia para la coordinación de las existencias bajo un esquema Justo a Tiempo acorde para el sector autopartista denominado el modelo de las Dos Cajas, la cual fue sugerida por el Ingeniero OSCAR PALACIO LEÓN, como resultado de su trabajo de grado de maestría en Investigación Operacional y Estadística de la UTP. A pesar de haber sido socializada y documentada, no se ha podido poner en práctica debido a: i) La falta del área funcional en logística al interior de MATROMOL; y ii) La falta de un WMS que facilite su uso de forma cotidiana. Por todo lo anterior, el autor de la presente investigación vuelve a proponer a la alta dirección de la compañía esta metodología de trabajo (Véase apéndice C).

**5.2.4 Estado del esquema de bodegaje en MATROMOL SAS.** Desde hace menos de un quinquenio la compañía cuenta con un sistema de almacenamiento (SA) conformado por: i) Estantería liviana sin apoyo de montacargas para el área de producto terminado; ii) Estantería pesada de baja altura para el área de producto en tránsito del área de operaciones; iii) La política de almacenamiento adoptada por el responsable del almacenamiento es la conocida por los especialistas en esta área de la logística como dedicada; iv) Posee un rudimentario sistema de localización y administración de los inventarios asistido por una hoja de datos electrónica; iv) Desde 1998 la compañía posee una metodología propia de costeo empresarial, que fue desarrollada e implementada por el Ingeniero OSCAR PALACIO LEÓN, como consecuencia de su contratación como consultor del área de

*Costos y Presupuestos por parte de la gerencia general de MATROMOL; y v) El layout desarrollado para el área de bodegaje no evidencia que su concepción obedezca a un diseño que integre su operatividad, por lo menos en lo que hace referencia a los procesos de picking.*

*A pesar de haber sido socializado e implementado el sistema de costeo para la compañía, no se evidencia con facilidad que este sea empleado por el responsable del sistema de almacenamiento con miras a: i) Cuantificar el precio de la posición de almacenamiento y de la UCE de bodegaje por ítem; ii) Medir permanentemente el SKU de los ítems clasificados como A en los procesos de planificación del área de almacenamiento; y iii) Homogenizar la UCE de bodegaje. Esta situación se deriva de: i) La falta del área funcional en logística al interior de MATROMOL; ii) Capacitación en temas relacionados con el diseño e implementación de sistemas de almacenamiento al personal responsable del CD; y iii) La falta de un WMS que apoye los procesos operacionales cotidianos que afronta el CD.*

**5.2.5 Estado de la gestión administrativa del CD de MATROMOL SAS.** *El responsable del SA de la compañía gestiona sus procesos administrativos, atendiendo a los lineamientos esbozados en el sistema de aseguramiento de la calidad vigente. Motivo por el cual la compañía al día de hoy, adolece de una evaluación de su sistema logística en función de indicadores de gestión basados en los KPI, que para nuestro caso en particular, las medidas de desempeño a contemplar deberían estar enmarcadas en los siguientes aspectos relevantes para el sistema, como tal: i) Utilización; ii) Rendimiento; y iii) Productividad. Esta situación se deriva de: i) La falta del área funcional en logística al interior de MATROMOL; ii) Capacitación en temas relacionados en gestión de SA al personal responsable del CD; y iii) La falta de un WMS que apoye las actividades cotidiana de gestión del CD. Motivo por el cual, el autor de la presente investigación propone a la alta dirección de la compañía los KPI presentados en anexo C, como primeras medias regulatorias del SA.*

**5.2.6 Estado físico de la NdA de MATROMOL SAS.** *El edificio tiene una edad aproximada de tres décadas de construido, situación que genera las siguientes características limitantes para implementar el SA, a saber: i) El encerramiento está constituido por ladrillo SantaFé con columnas incrustadas; ii) Altura máxima de ocho metros aproximadamente a partir de caída de aguas; iii) La cubierta es a dos aguas; iv) El intercolumnio es de aproximadamente trece metros; v) Profundidad es de aproximada veintiséis metros; vi) Posee un muelle*

de carga de camiones a cota cero de diez metros de ancho aproximadamente; vii) Está conectado al área de operaciones en un punto extremo con vecindad al área de packing que las conecta a través de una puerta de dos metros de ancho aproximadamente; y viii) su diseño está basado en el concepto de entreplantas, lo que constituye dos cubos de almacenamiento de 890 m<sup>3</sup> en la primera planta y de 1200 m<sup>3</sup> en la segunda planta, respectivamente.

## **5.3 Diseño del SA de MATROMOL SAS**

*El investigador de la presente memoria de tesis de maestría acordó con el gerente general de MATROMOL la señora Xiomara Acosta Velásquez, el diseño conceptual del SA para la presente NdA sin modificaciones estructurales mayor, situación que puede ser estudiada por MEINASA mediante el desarrollo del perfil de PITIA siguiente:*

**5.3.1 Perfil del PITIA en MATROMOL SAS.** *Ajustes menores al ordenamiento espacial en la NdA ya existente, como consecuencia que varían las condiciones de operación debido a: i) Variaciones en el diseño de la UCE de almacenamiento; y ii) Cambio tecnológico del SA que implica un reajuste del emplazamiento del área de bodegaje. Para desarrollar este perfil MEINASA emplea los siguientes procesos: i) Integración de los stakeholders; ii) Viabilidad comercial; iii) Viabilidad técnica; y iv) Viabilidad financiera.*

*Para finalizar, este perfil es viable desde el punto de vista legal durante su desarrollo.*

**5.3.2 Integración de los stakeholders al PITIA.** *Los directamente afectados por el proyecto son: i) El personal responsable del almacenamiento; ii) Los administradores de las cuentas clave; iii) El personal del área de operaciones de inyección, troquelado y de alistamiento de componentes eléctricos; iv) La gerencia general; y v) Los sponsors.*

**5.3.3 Viabilidad Comercial del PITIA.** *Es el punto de partida para administrar el SA, ya que permite establecer el cubaje de la zona de almacenamiento en términos de la UCE requerida por parte del Management de las Cuentas Claves (MCC).*

*El modelo matemático de previsión de la demanda que sugiere el planificador del SA de MATROMOL consta de los siguientes pasos: i) Predecir las Ventas Agregadas para MCC, ii) Ajustar la previsión del paso anterior por medio de Índices Económicos de Ajuste al Pronóstico; y iii) Sensibilizar los resultados del paso anterior por medio de Índices Financieros propios de la firma.*

*Modelo que fue diseñado de forma exclusiva para MATROMOL SAS, con los siguientes propósitos: En primer lugar para mitigar el Efecto Bullwhip que experimenta su red de distribución física (DÚO CD-MCC), y en último lugar porque se ajusta al canal de ventas empleado por la compañía. Motivo por el cual, este modelo de previsión de la demanda será bautizado por el autor de la presente investigación con el nombre de Promedio Móvil con Porcentaje Anual a Pesos Constantes con Ajuste Económico Financiero (Modelo OPL).*

*Los datos de entrada del Modelo OPL para la situación actual fueron suministrados por la firma con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, así: i) Ventas históricas por MCC del periodo comprendido entre 2007 a 2011 en términos de divisa con año base de referencia 2011; ii) Factor de ajuste al pronóstico de 1.0235; iii) Factor de ajuste financiero del 1.08 (Véase apéndice C).*

*En conclusión, el intervalo de confianza para la demanda estimada por el Modelo OPL para el año 2012, para la compañía MATROMOL SAS está en el orden de los 1.062.590 USD – 1.247.390 USD aproximadamente, que garantiza la viabilidad del PITIA.*

**5.3.4 Viabilidad Técnica del PITIA.** *Consiste en ubicar el área de almacenamiento de la firma previo análisis de: i) Requerimientos de bodegaje en términos de UCE de almacenamiento de los stakeholders; ii) Política de almacenamiento deseada por la alta dirección de la firma; iii) Restricciones físicas de la NdA; iv) Selección del SA viable para la NdA; v) Orientación de las bahías de almacenamiento; vi) Zonificación del área de almacenamiento; y vii) Negociación de la UCE por parte de los stakeholders.*

*El planificador del PITIA propone la implementación del siguiente SA, previa verificación de las restricciones de entorno de la NdA y análisis de sus condiciones de operatividad (Véase anexo E): i) Almacenamiento dedicado con zonificación por concepto de frecuencia; ii) Rack para picking con alto volumen de movimiento; iii) Contenedor Inbox con capacidad para 30 litros de almacenamiento; iv) Taburete-escalera tipo*

Taco; v) Kamban de transporte; y vi) Sistema WMS.

*En cuanto a la capacidad de almacenamiento y orientación zonificada de las bahías de almacenamiento, el planificador del PITIA propone el cubicaje que se presenta en el apéndice C y el layout que se muestra en el apéndice D, respectivamente. Solución que genera un cubicaje de 6,08 m<sup>3</sup> que equivale a 6080 posiciones de almacenamiento, con un ahorro del 12,2% en el desplazamiento de los colaboradores durante la actividad del picking en la hora pico (véase apéndice D) y un aumento en el nivel de saturación del personal asignado al almacén por encima del 85%, como resultado de aplicar el algoritmo del depósito latinoamericano apoyado con o sin el algoritmo de índice cubico por pedido.*

*Por su parte, el grupo de MCC que conforma el canal de ventas de la firma, basaran su proceso decisorio de negociación mediante el uso del siguiente sistema de control de Inventarios Justo a Tiempo de tipo Kamban: i) Intervalo Económico de Pedido para Múltiples Productos; ii) Capital inmovilizado por Contenedor Inbox de 50 USD; iii) Lean Time de pedido al CD; iv) Nivel de servicio del 95% en función de la desviación estándar de la demanda; y v) Modelo de inventario seleccionado: El de las dos cajas, por ajustarse a los estándares del sector automotriz de categoría mundial (véase apéndice C). En otras palabras, los MCC requieren un total de 4180 posiciones de almacenamiento.*

*En lo que compete a los sponsor de MATROMOL SAS el planificador del PITIA recomienda negociar con el grupo de MCC un nivel de inventario para el bodegaje del 50% del total de sus requerimientos (Comprende los inventarios clasificados como AB). Razón por la cual, ofrecen 2090 posiciones de almacenamiento al canal de ventas.*

*La conclusión de la negociación, es aceptar la propuesta de la gerencia del SA (GSA) de disponer de una capacidad de almacenamiento por parte del canal de ventas de 3160 posiciones de almacenamiento con un capital inmovilizado máximo de 158.000 USD, que genera un sobre costo en su administración del 4% aproximadamente, lo que implica que el líder en la CS de MATROMOL SAS es la GSA.*

**5.3.5 Viabilidad Financiera del PITIA.** *La configuración del área de almacenamiento propuesta para MATROMOL demanda una inversión cercana a los 740.890 USD, de la cual el proyecto como tal, puede cubrir un 80,6% aproximadamente con sus ingresos operacionales.*



*Por su parte, el desarrollo de este proyecto logístico demanda unas inversiones netas propias de 143.780 USD con una vigencia de cinco años, al cabo de los cuales incrementa el capital de la compañía en 262.049 UDS en divisas de hoy, siempre y cuando seden las condiciones presentadas en el apéndice F. Así mismo, se puede argumentar la viabilidad económica del PITIA mediante los siguientes indicadores financieros (véase apéndice F):*

- ❖ El periodo de la recuperación de la inversión inicial es de cuatro años aproximadamente.*
- ❖ El nivel de riesgo asociado al flujo de caja libre del proyecto es del 14,9% con una tasa verdadera de rentabilidad del 29% anual aproximadamente.*
- ❖ El índice de rendimiento calculado para el PITIA permite establecer que la tasa mínima de rendimiento exigida al mismo por parte del sponsor se puede recuperar y una vez la inversión inicial neta.*

*Además, se estima que los precios de venta mínimos en que se puede ofertar el servicio de almacenamiento de producto terminado alcanzan los 10.05 USD por posición de almacenamiento y los 11.83 USD por UCE de BODEGAJE (véase apéndice F). Las cifras económicas antes citadas están dadas a divisa de hoy.*

## **5.4 Modelo Matemático de MEINASA**

*El modelo matemático en el que se desarrolla la propuesta de diseño de la NdA se encaja en el esquema Un proveedor con M Compradores perteneciente a los protocolos de consenso para administración del inventario en la CS denominados COORDINACION DE EXISTENCIAS, que para el caso en consideración está constituido por el CD de MATROMOL y sus 5 MANAGEMENT DE CUENTA CLAVE, los cuales son responsables de la comercialización de más de 500 ítems. Razón por la cual, el investigador de la presente propuesta de maestría formulo el siguiente modelo matemático exclusivo para esta firma:*

**5.4.1 Inventario Máximo proyectado para el CD.** *Es la variable de decisión en la que se fundamenta el diseño de la NdA bajo el cumplimiento de una política de almacenamiento en cabeza del agente más fuerte de la CS, que para el caso en consideración posee las*

siguientes características:

- ❖ **Política de almacenamiento.** Las MCC demanda un sistema de bodegaje dedicado para los ítems que administran al interior de la CS de MATROMOL SAS (Cada uno de los ítems que ingresan al CD de producto terminado tiene asignado una posición de almacenamiento exclusiva).
- ❖ **Agente más fuerte en la CS.** Management de cuenta clave por ser los responsables en su totalidad de la administración del canal de ventas de la compañía.
- ❖ **Modelo de administración de las existencias.** El modelo seleccionado para dimensionar los requerimientos de bodegaje de los MCC se denomina **EL MODELO DE LAS DOS CAJAS**, debido a: i) Se ajusta al esquema de las empresas autopartistas de categoría mundial; y ii) Se puede adaptar a un sistema de aprovisionamiento periódico, vía el uso de modelos matemáticos exactos para la administración de inventarios de tipo P o ROP, por ser los apropiados para dimensionar la capacidad del CD en términos de posiciones de almacenamientos.

Formulación matemática:

$$\text{MinTC}(T) = \sum_{i=1}^n P_i R_i + \frac{C+nc}{T} + \frac{TF}{2} \sum_{i=1}^n P_i R_i + K_i \sum_{i=1}^n IS_i$$

En donde:

$R_i$  = Requerimientos anuales de contenedores por ítem  $i$

$P_i$  = Precio de adquisición por ítem  $i$

$n$  = Número total de ítems por orden conjunta

$C$  = Costo de pedir de la orden conjunta

$c$  = Costo individual de ordenar asociado con cada ítem

$T$  = Intervalo de tiempo entre pedidos en términos anuales

$F$  = Tasa de transferencia por año

$IS$  = Inventario de seguridad del ítem  $i$

$K_i$  = Precio de venta del servicio de almacenamiento por posición o por UCE de bodegaje

En cuanto a la parametrización de los requerimientos anuales de contenedores, se tomó como referencia el modelo formulado en la

década de los 50 por la Westinghouse Electric Corporación denominado **TREND AND SEASONALLY ADJUSTED MOVING AVERAGE FORECASTS**, mediante el uso del siguiente modelo matemático exacto:

$$P_i R_i^{J+1} = P_i R_i^J \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^{5-1} \left( \frac{P_i R_i^{J+1} - P_i R_i^J}{P_i R_i^{J+1}} \right) * 100}{100} \right) * \prod_{k=1}^L \left( 1 + \frac{I_k}{100} \right)$$

En donde:

$P_i R_i^{J+1}$  = Requerimiento proyectado de los ingresos operacionales a pesos constantes por ítem  $i$  para el año  $J + 1$

$P_i R_i^J$  = Requerimiento del año base  $J$  de los ingresos operacionales a pesos constantes por ítem  $i$

$\sum_{i=1}^{5-1} \left( \frac{P_i R_i^{J+1} - P_i R_i^J}{P_i R_i^{J+1}} \right) * 100$  = Tasa de crecimiento promedio anual

$\prod_{k=1}^L \left( 1 + \frac{I_k}{100} \right)$  = Índice de ajuste al pronóstico con año base  $J$ , basado en el entorno económico de la firma

Para determinar el intervalo de tiempo óptimo entre pedidos para múltiples ítems se debe derivar la función de costo total anual con respecto al intervalo de tiempo entre pedidos ( $T$ ) e igualándola a cero:

$$\frac{dTC(C)}{dT} = -\frac{C + nc}{T^2} + \frac{F}{2} \sum_{i=1}^n P_i R_i = 0$$

Solucionando la ecuación anterior en función de  $T$ , se obtiene la siguiente expresión:

$$T^* = \sqrt{\frac{2(C + nc)}{F \sum_{i=1}^n P_i R_i}}$$

El inventario máximo para consumo se obtiene al asociar a  $T^*$  el lead time de ordenar ( $L$ ) del management de cuenta clave  $j$  el ítem  $i$ , así:

$$s_{ij} = \frac{R_i(T^* + L)}{52}$$

Por su parte, la suma de  $(T^* + L)$  debe ser un entero y estar dado en semanas.

En lo que respecta al inventario de seguridad se cuantifica mediante el siguiente modelo matemático exacto [3, 75, 100]:

$$IS_i = z(S_R)_{ij}$$

En donde:

$Z$  = Es la variante tipificada de la distribución normal asociada al nivel de servicio deseado por el MCC  $j$  en función de la desviación estándar de los requerimientos anuales de contenedores

$(S_R)_{ij}$  = Representa la desviación estándar de los requerimientos anuales de contenedores por ítem  $i$  por MCC  $j$

Costo total mínimo por año:

$$TC(T^*) = (1 + FT^*) \sum_{i=1}^n P_i R_i + K_i \sum_{i=1}^n IS_i$$

**5.4.2 Capacidad de almacenamiento del CD.** Se empleó el modelo de JOSEPH BASSAN [34], que a su vez permite establecer el ordenamiento espacial de la NdA. Bassan propone dos esquemas básicos de layout para el área de bodegaje, siendo su variable de optimización la altura efectiva de almacenamiento (antes de caída de aguas sin incluir el margen de seguridad industrial frente a luminarias). A continuación, se expone este modelo matemático exacto:

Figura 5-1. Modelo grafico de Bassan [11, 34, 50, 75] <sup>18</sup>

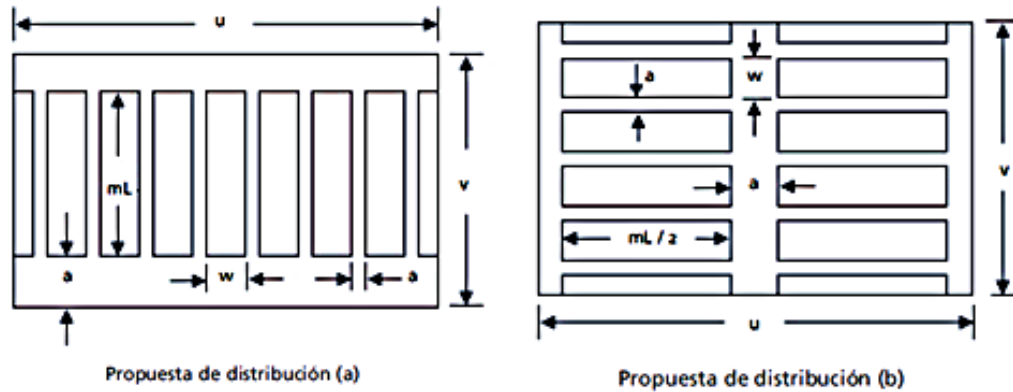


Figura 5-1. Modelo matemático de Bassan [11, 34, 50, 75] <sup>19</sup>

Layout	Distribución propuesta del almacén (a)	Distribución propuesta del almacén (b)
Número óptimo de espacios	$m_a = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{dCb + 2aCs + 2Cp}{2(dCb + Cp)}} \left[ \frac{K(w+a)L}{2b} \right]$	$m_b = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{2dCb + 3aCs + 2Cp}{dCb + 2Cp}} \left[ \frac{K(w+a)L}{2b} \right]$
Número óptimo de estantes	$n_b = \frac{1}{w+a} \sqrt{\frac{2(dCb + Cp)}{dCb + 2aCs + 2Cp}} \left[ \frac{K(w+a)L}{2b} \right]$	$n_b = \frac{1}{w+a} \sqrt{\frac{dCb + 2Cp}{2dCb + 3aCs + 2Cp}} \left[ \frac{K(w+a)L}{2b} \right]$
Longitud óptima	$u_a = n_a * (w + a)$	$u_b = 3a + m_2 * L$
Ancho óptimo	$v_a = 2a + m_1 * L$	$v_b = n_b * (w + a)$

Los subíndices a y b corresponden a la distribución propuesta del almacén (a) y (b) respectivamente.

En donde:

$W$  = Ancho de las bahías de almacenamiento dobles (ft)

$L$  = Longitud del área de bodegaje requerido. e.g. ancho del contenedor in box (ft)

$m$  = Número de espacios de almacenaje a lo largo de la bahía

$n$  = Número de bahías dobles

$h$  = Número de niveles de almacenaje en dirección vertical ( $H_{Efectiva}$  de la bahía de almacenamiento /  $H_{Contenedor}$  in Box)

$K_i$  = Capacidad total del almacén en espacios de almacenaje  $K_i = 2nmh$

$a$  = Ancho de los corredores peatonales y de movimiento de materiales en Rack Fill (ft)

<sup>18</sup> ARANGO, M.D., et all. (2010). Reestructuración del layout de la zona de picking en una bodega industrial. Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá D.C (Colombia). ISSN 0121-4993 Diciembre de 2010, pp 54-61.

<sup>19</sup> Idem 18.

$v$  = Ancho del almacén

$d$  = Flujo anual (demanda) del almacén (Ítems/año)

$Ch$  = Costos del manejo de materiales por pie (USD/ft)

$Cs$  = Costo anual por unidad del área de almacenamiento (USD/ft<sup>2</sup>)

$Cp$  = Costo anual inmotico por perímetro del CD (USD/ft)

Para minimizar el costo entre estos dos diseños de layout alternativos, se puede aplicar la siguiente regla de decisión:

- ❖ Si  $d < Cp / Ch$ , seleccionar el LAYOUT TIPO A
- ❖ Si  $d > 2Cp / Ch$ , seleccionar el LAYOUT TIPO B
- ❖ Si  $Cp / Ch < d < 2Cp / Ch$ , no se puede concluir

**5.4.3 Proceso de negociación de la UCE entre los interesados.** Se empleó la regla de negociación denominada por Sipper<sup>20</sup> como **SENSIBILIDAD DE LA CANTIDAD DE PEDIDO**, cuyo modelo matemático exacto se describe en seguida:

$$\frac{CT_{CONJUNTO CS}}{CT_{AGENTE LIDER}} = \frac{1}{2} \left[ \frac{I_{max}^{AL}}{I_{max}^{AN}} + \frac{I_{max}^{AN}}{I_{max}^{AL}} \right]$$

En donde:

$I_{max}^{AL}$  = Cantidad de contenedores requeridos por ítem del agente líder miembro de la CS analizada

$I_{max}^{AN}$  = Cantidad de contenedores requeridos por ítem del agente negociador miembro de la CS analizada

$\frac{1}{2} \left[ \frac{I_{max}^{AL}}{I_{max}^{AN}} + \frac{I_{max}^{AN}}{I_{max}^{AL}} \right]$  = Factor de ajuste al costo de administración de inventarios conjunto a negociar

Regla de decisión:

$$CT_{CONJUNTO CS} = \min \left\{ \frac{1}{2} \left[ \frac{I_{max}^{AL}}{I_{max}^{AN}} + \frac{I_{max}^{AN}}{I_{max}^{AL}} \right] \right\} * CT_{AGENTE LIDER}$$

**5.4.4 Zonificación del Área de Almacenamiento.** Se empleó la heurística de **MEYERS** [67] combinado con el modelo de **INDICE CUBICO POR PEDIDO** [11]. Este modelado tiene como meta reducir los tiempos de respuesta durante la operación de picking. La

---

<sup>20</sup> SIPPER, S., y BULFIN, Jr. R.L. (1998). *Planeación y control de la producción. Primera edición en español. Ciudad de México D.C. (México). Editorial McGrawHill. Pp 232 – 2334*

implementación de estas herramientas de diseño del sistema operativo del CD, se llevó a cabo mediante la evaluación de 1000 horas pico de trabajo simuladas en PROMODEL 4.0 a las dos alternativas de layout planteadas, cuya parametrización se encuentra consignada en sus códigos fuentes correspondientes (véase apéndice E), la cual permite demostrar la viabilidad de zonificar el área de bodegaje.

El aporte que el investigador realizó en este punto del modelo, consistió en aplicar el algoritmo denominado **DEPÓSITO LATINOAMERICANO** [103], el cual mejora los niveles de productividad del personal y mitiga los niveles de deficiencia en los tiempos muertos presentes durante la operación del CD, que para el caso analizado implicaría al menos reducirlos en un 85% con respecto al descrito en el reporte de PROMODEL 4.0 (véase apéndice E).

**5.4.5 Viabilidad Financiera del Modelo.** Se empleó el modelo de costeo denominado por los logísticos de almacenamiento con el nombre de **COSTOS DE OPORTUNIDAD** [65], con el fin de evaluar la viabilidad del PITIA a pesos constantes mediante el uso de criterios de evaluación financiera de proyectos, tales como VPN, TIRM, PR, IR, análisis de riesgo y análisis de sensibilidad al flujo de caja libre del PITIA. Siendo el aporte que el investigador realizó en este punto del modelo, consistente en:

- ❖ presupuestar el costo por metro cuadrado del sistema inmotico (véase apéndice C).
- ❖ Enseñar a valorar el precio de venta del servicio de bodegaje (véase apéndice C).
- ❖ Difundir el uso del criterio de evaluación financiera de proyectos denominado VPN Ajustado, el cual permite evaluar el impacto que genera el financiamiento de la deuda vía la cuantificación de un equivalente de certeza inherente al mismo (véase apéndice F).
- ❖ Cuantificar el punto de equilibrio financiero al flujo de caja neto ajustado del PITIA, con el objeto de poder determinar el precio mínimo de venta del servicio de almacenamiento ofertado por el CD a los administradores de las cuentas claves que conforman su sistema de distribución física (véase apéndice F).
- ❖ Evaluar el nivel de riesgo asociado al PITIA al sensibilizar los flujos de caja totalmente neto ajustado mediante una función de probabilidad empírica aceptada por la comunidad académica y científica miembros de la familia de ingenieros industriales a nivel orbital (véase apéndice F).

## 6. Conclusiones

1. *Las actuales metodologías de DSP no están contextualizadas en la SCM, situación que hace que el SA promueve el llamado Bullwhip Effect, a pesar de existir protocolos de consenso pactados entre los agentes tendientes a mitigarlos, por ende se hace necesario contar con una metodología de trabajo como MEINASA que mitigue al 85% esta situación desde la planificación estratégica del EI.*
2. *MEINASA está concebida desde los procesos de innovación y tecnología para edificaciones autosostenibles inteligentes, debido a que incorpora desde la formulación del PITIA a la inmotica, que para el caso suramericano la inversión promedia los 400 USD/m<sup>2</sup> que genera un sobre costo promedio de 5,2 USD/m<sup>2</sup>-mes en bodegaje. En el mismo sentido, los beneficios esperados para la gerencia del SA se cifran en el intervalo 1.7 a 2 USD/m<sup>2</sup>-mes.*
3. *MEINASA garantiza la viabilidad del PITIA desde su planeamiento estratégico, porque contempla en la formulación del mismo el uso de índice de confort y seguridad industrial en términos de espacio, detallando la zona de almacenamiento y del patio de maniobras del CD.*
4. *MEINASA planifica la operatividad de la NdA a partir de su altura libre para almacenamiento (A partir de caída de aguas) combinada con su intercolumnio, parámetros que permite flexibilizar el SA en términos de la UCE de almacenamiento homogénea y de la política de almacenamiento deseada por la administración. Por tal razón, es que esta metodología garantiza un ciclo de vida del EI no inferior a cincuenta años formulado y desarrollado con ella.*



5. *En la literatura científica especializada en DSP que está al servicio de los planificadores de instalaciones industrial, al día de hoy no está contextualizada con la situación que viven las organizaciones en su diario vivir, situación que no enfrentaría MEINASA, ya que los criterios de científicidad y las características en las que esta soportada le darán viabilidad de forma permanente ante cambios en los paradigmas del management.*
6. *La incorporación desde el comienzo del PITIA con destino a servir al sistema de almacenamiento por parte de los stakeholders permite que este DSP sea funcional, amigable con el medio ambiente y sobre todo un elemento que permite que el inventario se acople a las necesidades del sistema logístico para quien servirá, con niveles de servicio entre el 85 al 99.97%.*
7. *El planificador del sistema productivo que emplee MEINASA estará evaluando la viabilidad legal a medida que desarrolla sus procesos, para garantizar que el perfil seleccionado es óptimo en términos de pertinencia y efectividad para los stakeholders.*
8. *MEINASA tiene por principio rector apoyar el ciclo PHVA del PITIA con orientación al almacenamiento en procesos de sostenibilidad. Situación que se hace tangible, al involucrar desde el diseño mismo del proyecto a los usuarios habituales del EI para que participen en la planificación de la arquitectura bioclimática del edificio industrial, así como también contribuyan con la flexibilidad del mismo en términos de confort, conectividad, seguridad industrial, uso racional de la energía y con la selección de la metodología de evaluación de la NdA en términos de ecoeficiencia.*
9. *MEINASA soporta la optimización del cubo de la NdA en modelos sociales asistidos por protocolos de consenso entre la dupla de actores Supplier-Buyers, situación que permite reducir hasta en un cincuenta por ciento la zona de bodegaje sin demeritar los niveles de servicio del SA diseñado por ella.*
10. *La dificultad que enfrentaría MEINASA para su aplicación estaría relacionada con la carencia total o parcial de un modelo de negocio basado en la SCM, con una arquitectura empresarial que facilite su integración, sincronización y coordinación, soportado por un plan estratégico basada en la gerencia de proyectos ágiles que viabilice la inmotica de la CoSo.*

*11. MEINASA al emplear modelos sociales soportados por herramientas propias de la ingeniería industrial, permite los siguientes niveles de productividad en la hora pico de actividad de la NdA, así: i) 3.4 t por operario y por hora, al diseñar los muelles de carga y descarga mediante modelos de encolamiento; y ii) Ahorro promedio del 50% en los desplazamientos durante la operación de picking por zonificar dicha zona. Además, la productividad se mejora en los tiempos muertos al saturar los tiempos de los colaboradores del SA por encima del 85% inclusive al administrar la zona de bodegaje mediante el uso del algoritmo del depósito latinoamericano.*

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. ABARCA Á., A. (2010). Memoria de la Tesis Doctoral: "*Sistema de agentes para control de stock de almacén basado en identificación por radiofrecuencia*". Ciudad Real (España). Publicado por la UC-La Mancha.
2. ADLER, D. (1999). "*Metric handbook: Planning and Design Data*". 2<sup>nd</sup> Edition. Boston (USA). Editorial Architectural Press.
3. AIELLO, J.L. (2008). "*Rightsizing Inventory*". Boca Raton (USA). Publicado por Auerbach Publications.
4. ALARCON N., D.B. (2005). Memoria de la Tesis Doctoral: "*Modelo integrado de valor para estructuras sostenibles*". Barcelona (España). Publicado por la UPC.
5. ALFAYA, V. (2008). "*Responsabilidad social empresarial (RSE): La Empresa Sostenible*". Salamanca (España). Publicado por la USAL.
6. ALTEZ V., L.F. (2009). Memoria de Trabajo de Grado: "*Asegurando el Valor en Proyectos de Construcción: Un estudio de Técnicas y Herramientas de Gestión de Riesgos en la Etapa de Construcción*". Lima (Perú). Publicado por la PUCP.
7. APOLANT G., P., et al. (2009). "*Análisis del ciclo de vida de los edificios*". Montevideo (Uruguay). Slide sobre ACV del Taller de Construcción-Construcción III de la Farq de la UdelaC. Publicado por [www.monografias.com/](http://www.monografias.com/)
8. ARBOLEDA V., G. (1999). "*Proyectos: Formulación, Evaluación y control*". 3<sup>a</sup> Edición. Cali (Colombia). Publicador por AC Editores.
9. ARCE M., S. (2009). Memoria del Trabajo de Grado: "*Identificación de los principales problemas en la logística de abastecimiento de las empresas constructoras bogotanas y propuesta de mejoras*". Bogotá D.C. (Colombia). Publicado por UJ.

10. AVINA. (2004). Proyecto: "*Desarrollo de capacidades para la construcción sostenible*". Programa nacional del Foro Ciudades para la vida (FCPV). Lima (Perú). Publicado por [www.ciudad.org.pe](http://www.ciudad.org.pe)
11. BALLOU. R.H. (2004). "*Logística: Administración de la Cadena de Suministro*". 5ª Edición. Ciudad de México D.F. (México). Editorial Pearson.
12. BARTHOLDI, J.J., and HACKMAN, Steven T. (2010). "*Warehouse & distribution science*". Publicado por [www.warehouse-science.com](http://www.warehouse-science.com)
13. BOLTEN, E.F. (1997). "*Managing Time and Space in the Modern Warehouse: With Ready-to-use Forms, Checklist & Documentation*". New York (USA). Editorial AMACOM BOOKS.
14. BORRERO O., O.A. (2008). "*Avalúos de inmuebles y garantías*". 3ª Edición. Bogotá D.C. (Colombia). Publicado por Bhandar editores.
15. BLANCO A., J.L. (2003). Memoria de la Tesis Doctoral: "*Estudio relativo a la construcción modular*". Barcelona (España). Publicado por la UPC.
16. BLANCHARD, D. (2007). "*Supply chain management: Best practices*". Toronto (Canada). Editorial John Wiley & Sons, Inc.
17. BLÉ J., C., et al. (2010). "*Diseño Ágil con TDD*". Islas Canarias (España). Publicado por [www.iExpertos.com](http://www.iExpertos.com)
18. BRAUER, R.L. (1992). "*Facilities Planning: The User Requirements Method*". 2<sup>th</sup> Ed. New York (USA). Editorial AMACOM BOOKS.
19. BUSCAMANTE G., W. (2009). "*Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social*". Colección: Monografías y Ensayos. Serie: II Tecnología de la Construcción. Publicación: No 333. Santiago de Chile (Chile). Elaborada por la UC. Impreso por Grafhika Copy Center Ltda. Divulgado en [www.acee.cl/](http://www.acee.cl/)
20. CALDERÓN B., J.I. (2004). Memoria de Proyecto Fin de Carrera: "*Aplicación del análisis de riesgos al diseño de almacenes*". Sevilla (España). Publicado por la US.
21. CASADESÚS P., S. (2005). Memoria de Tesis Doctoral: "*Consideraciones entorno a los modelos para el estudio de la evacuación de edificios*". Terrassa (España). Publicado por la UPC.
22. CASALS C., M. (1997). Memoria de Tesis Doctoral: "*Estudio de la aplicabilidad de distintas técnicas de gestión de la calidad en la elaboración del proyecto de construcción: aplicación al diseño de edificios industriales*". Barcelona (España). Publicado por la UPC.

23. CASANOVAS, A., y CUATRECASAS, LI. (2001). "*Logística Empresarial*". Madrid (España). Editorial Ediciones Gestión 2000, S.A.
24. CARDÓS C., M., et al. (2003). "*Manutención y almacenaje: Diseño, gestión y control*". Valencia (España). Publicado por la UPV.
25. CECODES. (2009). "*Cambiando el rumbo 2009: Casos de sostenibilidad en Colombia*". Bogotá D.C. (Colombia). Publicado por <http://www.cecodes.org.co/>
26. CECODES. (2010). "*Cambiando el rumbo 2010: Casos de sostenibilidad en Colombia*". Bogotá D.C. (Colombia). Publicado por <http://www.cecodes.org.co/>
27. CER. (2009). "*Guía de Ecoeficiencia para Empresas*". Lima (Perú). Publicado por el Ministerio del ambiente de la República del Perú.
28. CdM. (2006). "*Guía de sostenibilidad*". Madrid (España). Publicado por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid.
29. CDT. (2005). "*Guía de Diseño y Construcción Sustentable*". Santiago de Chile (Chile). Publicado por la Cámara Chilena de la Construcción.
30. CHINYIO, E., and OLOMOLAIYE, P. (2010). "*Construction Stakeholder Management*". Iowa (USA). Editorial Jhon Wiley & Sons.
31. CHOPRA, S., and MEINDL, P. (2008). "*Administración de la Cadena de Suministro: Estrategia, Planeación y Operación*". 3ª Edición. Ciudad de México D.F. (México). Editorial Pearson.
32. CONTRERAS, E. (2009). "*Evaluación de inversiones bajo incertidumbre: Teoría y aplicaciones a proyectos en Chile*". Santiago de Chile (Chile). Serie Manuales No 63. Publicado por las Naciones Unidas.
33. DAGANZO, C.F. (2005). "*Logistics systems analysis*". 4<sup>th</sup> Edition. California (USA). Editorial Springer.
34. DÁVILA, J.A. (2001). Memoria de Trabajo de Grado: "*Herramienta basada en internet, como apoyo en el aprendizaje de la operación logística de Almacenamiento*". Bogotá D.C. (Colombia). Publicado por Uniandes.
35. DIAZ, A.B., et al. (2004). "*Logística inversa y medio ambiente*". Madrid (España). Editorial McGrawHill.
36. DIAZ V., G.J. (2006). Memoria de Tesis Doctoral: "*Ecoeficiencia en la gestión de residuos municipales: modelo y factores exógenos*". Barcelona (España). Publicado por la UAB.

37. DIEGO-MÁS, J.A. (2006). Memoria de la Tesis Doctoral: "*Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos: Aportación al control de la geometría de las actividades*". Valencia (España). Publicado por la UPV.
38. DISNEY, S.M., and LAMBRECHT, M.R. (2008). "*On Replenishment Rules, Forecasting, and the Bullwhip Effect in Supply Chains*". Boston (USA). Editorial Now.
39. DZUL L., L.A. (2009). Memoria de Tesis Doctoral: "*Los costes de la calidad en el diseño de proyectos de construcción: un enfoque de procesos*". Barcelona (España). Publicado por la UPC.
40. ESCORCIA O., O. (2004). "*Manual para la investigación: Guía para la formulación, desarrollo y divulgación de proyectos*". Bogotá D.C. (Colombia). Publicado por la UN.
41. FERNANDEZ S., G. (2010). Memoria de la Tesis Doctoral: "*Propuestas de modelo para la evaluación de la sostenibilidad en la dirección integrada de proyectos de ingeniería civil*". Madrid (España). Publicado por la UPM.
42. FERNANDEZ V., M.B. (2010). Memoria de la Tesis Doctoral: "*Propuesta metodológica dirigida a la administración pública para mejorar la ecoeficiencia de la industria: Aplicación al caso de las pyme de Venezuela*". Valencia (España). Publicado por la UPV.
43. FORMOSO, C.T., et al. (2009). "*Construction Supply chain management handbook*". Boca Raton (USA). Editorial CRC Press.
44. GARCIA C., A. (2010). "*Almacenes: Planeación, organización y control*". 4ª Edición. Ciudad de México D.F. (México). Editorial Trillas.
45. GARCIA R., J.L. (2008). "*Manual técnico de construcción*". 4ª Edición. Ciudad de México D.F. (México). Libro publicado por Holcim Apasco e impreso por la Editorial Fernando Porrúa.
46. GARCÍA S., J.P., et al. (2004). "*Gestión de stocks de demanda independiente*". Valencia (España). Publicado por la UPV.
47. GEILFUS, F. (2002). "*80 herramientas para el desarrollo participativo: Diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación*". San José de Costa Rica (Costa Rica). Publicado por Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
48. GOMEZ M., D. (2008). Memoria de Especialización: "*Estudio comparativo entre distintas metodologías de industrialización de la construcción de viviendas*". Barcelona (España). Publicado por la UPC.
49. GOMEZ H., M. (2009). Memoria de la Tesis Doctoral: "*Desarrollo de un modelo de evaluación de la gestión del conocimiento en*

- empresas de manufactura*". Madrid (España). Publicado por la UPM.
50. GHIANI, G., et al, (2004). *"Introduction to Logistics Systems Planning and Control"*. 2ª Edición. Londres (Inglaterra). Editorial Jhon Wiley & Sons.
  51. GUAVITA, W. (2008). Memoria de la Tesis Doctoral: *"Desarrollo de un modelo de simulación para ensayar políticas operacionales en cadenas de suministros de PYMES transformadoras"*. Madrid (España). Publicado por la UPM.
  52. GUTIÉRREZ, M.L., et al. (2009). "Materiales y procedimientos de construcción". Tomo I. Ciudad de México D.F. (México). Libro publicado por la Escuela Mexicana de Arquitectura de la Universidad de la Salle e impreso por la Editorial Diana.
  53. JIMENEZ S., J.E. (2005). Publicación técnica No 128: *"Estado del arte de los modelos matemáticos para la coordinación de inventarios en la cadena de suministro"*. Ciudad de México D.F. (México). Publicado por el IMT de México.
  54. KOSKELA, L. (1992). Memoria de la Tesis Doctoral: *"Application of the new production philosophy to construction"*. California (USA). Publicado por la Stanford University.
  55. HERNÁNDEZ P., G., y WOITHE, G. (1986). "Fundamentos de la proyección de fábricas de construcción de maquinarias". Ciudad de la Habana (Cuba). Editorial Pueblo y Educación.
  56. IAF. (2002). Programa PILOT: *"Las Claves de la Supply Chain"*, desarrollado por PricewaterhouseCoopers. Zaragoza (España). Publicado por el Instituto Aragonés de Fomento.
  57. IVANOV, D. and SOKOLOV, B. (2010). "Adaptive supply chain management". Berlin (Alemania). Editorial Springer.
  58. LAHMAR, M. (2008). *"Facility logistics: Approaches and solutions to next generation challenges"*. Boca Raton (USA). Publicado por Auerbach Publications.
  59. LANGEVIN, A. and RIOPEL, D. (2005). *"Logistics Systems: Design and Optimization"*. New York (USA). Editorial Springer.
  60. LEAL, J. (2005). *"Ecoeficiencia: Marco de análisis, indicadores y experiencias"*. Santiago de Chile (Chile). Serie Medio ambiente y desarrollo No 105. Publicado por las Naciones Unidas.
  61. LOPEZ P., J. (2010). Memoria de Tesis Doctoral: *"Incorporación de la logística inversa en la cadena de suministros y su influencia en la estructura organizativa de las empresas"*. Barcelona (España). Publicado por la UB.
  62. MARTÍN-ANDINO B., R. (2006). Memoria de Tesis Doctoral: *"El efecto látigo (Bullwhip) en las cadenas de suministro y la*

- dependencia de los agentes que las integran*". Madrid (España). Publicado por la Upcomillas.
63. MARTINEZ N., F., y TÚREGANO G., J.C. (2010). "*Ciencias para el Mundo Contemporáneo: Guía de recursos didácticos*". Islas Canarias (España). Publicado por la Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información (ACIISI), Presidencia del Gobierno.
  64. MARTINEZ S., M.E. (2011). Memoria de la Tesis Doctoral: "*Desarrollo de un modelo de gestión del conocimiento en la cadena de suministro de la industria agroalimentaria*". Madrid (España). Publicado por la UPM.
  65. MAULEÓN, M. (2006). "*Logística y costos*". 1ª Edición. Madrid (España). Editorial Díaz de Santos.
  66. MAULEÓN, M. (2003). "*Sistemas de Almacenamiento y Picking*". 1ª Edición. Madrid (España). Editorial Díaz de Santos.
  67. MEYERS, F.E., y STEPHENS, M.P. (2006). "*Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*". 3ª Edición. Ciudad de México D.F. (México). Editorial Pearson.
  68. MORA G., L.A. (2012). "*Indicadores de gestión logísticos*". Bogotá D.C. (Colombia). Artículo publicado en el periódico La Republica. <http://www.webpicking.com/hojas/indicadores.htm>
  69. MORALES C., A., y MORALES C., J.A. (2009). "Proyectos de inversión: Evaluación y formulación". Ciudad de México D.C. (México). Editorial McGrawHill.
  70. MUTHER, R. (1968). "*Planificación y proyección de la empresa industria: Método SLP*". Barcelona (España). Publicado por editores técnicos asociados, S.A.
  71. NÚÑEZ Z., R. (2008). "*Manual para la evaluación de proyectos de inversión*". Ciudad de México D.F. (México). Editorial Trillas.
  72. ORTEGÓN, E., et al. (2005). "*Metodología del Marco Lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*". Santiago de Chile (Chile). Serie Manuales No 42. Publicado por las Naciones Unidas.
  73. ORTIZ C., M.A. (2011). Memoria de trabajo final de maestría: "*Optimización del sistema inmotico en el hotel Renaissance de Barcelona*". Barcelona (España). Publicado por la UPC.
  74. PALACIO L., O., y BERBEO G., C.H. (2011). "*Pautas generales para la creación de una nave de almacenamiento modular destinada a productos no perecederos*". Bogotá D.C (Colombia). Revista Clepsidra, Numero No 13, Julio-Diciembre. ISSN 1900-1355.



75. PALACIO L., O., et al. (2008). Libro notas de clase: "*Logística de aprovisionamiento*". Bogotá D.C. (Colombia). Resultado de investigación del proyecto ING 145 financiado por la UMNG.
76. PARMENTER, D. (2010). "*Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs*". 2<sup>th</sup> Edition. Toronto (Canadá). Editorial John Wiley & Sons, Inc.
77. PARRADO D., C.C. (2001). Memoria de Tesis Doctoral: "*Metodología para la ordenación del territorio bajo el prisma de sostenibilidad (Estudio de su aplicación en la ciudad de Bogotá D.C)*". Barcelona (España). Publicado por la UPC.
78. PEREZ H., M. (1998). "*Manual técnico del almacenaje*". Barcelona (España). Publicado por MECALUX.
79. PETERS, M.S., and TIMMERHAUS, K.D. (1991). "*Plant design and economics for chemical engineers*". 4<sup>th</sup> ed. Singapur (Singapur). Editorial McGrawHill.
80. POIRIER, Ch.C. (2001). "*Administración de cadenas de aprovisionamiento: Cómo construir una ventaja competitiva sostenida*". Ciudad de México D.F. (México). Editorial Oxford University.
81. PRIAS C, O.F. (2010). "*Informe final del plan de acción 2010-2015: Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales (PROURE)*". Bogotá D.C. (Colombia). Publicado por el Ministerio de Minas y Energía de la Republica de Colombia.
82. TEICHOLZ, E., B.H. (2004). "*Facilty design and management handbook*". California (USA). Editorial McGrawHill.
83. TONCHIA, S. (2008). "*Industrial Project Management: Planning, Design, and Construction*". Berlin (Alemania). Editorial Springer.
84. TOMPKINS, J.A., et al. (2003). "*Facilities planning*". New York (USA). Editorial Jhon Wiley & Sons, Inc.
85. SALDARRIAGA R., D.L. (2012). "Diseño, Optimización y Gerencia de centros de distribución: Almacenar menos, distribuir más". Medellín (Colombia). Publicado por Impresos Begón Ltda.
86. SÁNCHEZ O., G., (2002). Memoria de Tesis Doctoral: "*El IDS: Un nuevo sistema integrado de toma de decisiones para la gestión de proyectos constructivos*". Barcelona (España). Publicado por la UPC.
87. SDA. (2010). "*Guía de manejo ambiental para el sector de la construcción*". Bogotá D.C. (Colombia). Publicado por la Alcaldía mayor de Bogotá.
88. SEHGAL, V. (2009). "*Enterprise supply chain management: Integrating best-in class processes*". Toronto (Canadá). Editorial John Wiley & Sons, Inc.

89. SERER F., M. (2006). "*Gestión integrada de proyectos*". Valencia (España). Ediciones UPV.
90. SERRANO L., I. (2007). Memoria de Tesis Doctoral: "*Análisis de la aplicabilidad de la técnica Value Stream Mapping en el rediseño de sistemas productivos*". Girona (España). Publicado por la UdG.
91. SORET L., I. (2007). Memoria de Tesis Doctoral: "*Modelo de medición de conocimiento y generación de ventajas competitivas sostenibles en el ámbito de la iniciativa "respuesta eficiente al consumidor", (efficient consumer response) ECR*". Madrid (España). Publicado por la URJC.
92. STADTLER, H. and KILGER, C. (2008). "*Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software and case studies*". 4<sup>th</sup> Edition. Berlín (Alemania). Editorial Springer.
93. SULE, D.R. (2001). "*Instalaciones de Manufactura: Ubicación, planeación y diseño*". 2<sup>a</sup> Edición. Ciudad de México D.F. (México). Editorial Thomson.
94. SUÑÉ T., A., et al. (2004). "*Manual práctico de diseño de sistemas productivos*". Madrid (España). Editorial Díaz de santos.
95. REY, M.F. (2008), "Encuesta Nacional Logística - Resultados del Benchmarking Logístico - Colombia 2008". Desarrollado por la Unidad Regional de Investigación del Center for Emerging Logistics and Supply Chains (CELSC).
96. ROJAS V., R. (2003). Memoria de Trabajo final de carrera: "*Estudio e Implementación de una nueva filosofía de Planificación de Proyectos (Lean Construction)*". Santiago de Chile (Chile). Publicado por la Universidad Andrés Bello.
97. ROUX, M. (2002). "*Manual de logística para la gestión de almacenes*". 2<sup>a</sup> Edición. Madrid (España). Editorial Ediciones Gestión 2000, S.A.
98. ULLO R., K.A. (2009). Memoria de Trabajo de Grado: "*Técnicas y herramientas para la gestión del abastecimiento*". Lima (Perú). Publicado por la PUCP.
99. VÉLEZ P., I. (2006). "*Decisiones de Inversión: Para la valoración financiera de proyectos y empresas*". 5<sup>a</sup> Edición. Bogotá. Publicado por la Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
100. VOLLMANN, T.E., et al. (2005). "*Planeación y control de la producción: Administración de la cadena de suministros*". 5<sup>a</sup> Edición. Ciudad de México D.F. (México). Editorial McGraw-Hill.
101. WADEL R., G. (2009). Memoria de Tesis Doctoral: "*La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción*".

- modular ligera aplicada a la vivienda*". Barcelona (España). Publicado por la UPC.
102. WATERS, D. (2007). "*Global logistics: New directions in supply chain management*". 5<sup>th</sup> Edition. London (Inglaterra). Editorial Kogan Page.
  103. ZAMBRELLI, L.M. y CARRANZA, O. (2002). "*Warehousing Latinoamérica*". Publicado por la UBA (Argentina) en asocio con la UP (México).