



CIENCIAS ECONÓMICAS
Y ADMINISTRATIVAS

TEXTO

NEGOCIOS INTERNACIONALES

Cadenas de suministro global: perspectiva desde la gestión de existencias



CIENCIAS ECONÓMICAS
Y ADMINISTRATIVAS

TEXTO

NEGOCIOS INTERNACIONALES

Cadenas de suministro global: perspectiva desde la gestión de existencias

Gabriel Ernesto Barragán Moreno
-Autor-



Vigilada Mineducación



Barragán Moreno, Gabriel Ernesto

Cadenas de suministro global: perspectiva desde la gestión de existencias / Gabriel Ernesto Barragán Moreno. -- Bogotá : Editorial Uniagustiniana, 2019.

122 páginas; 24 cm.-- (Ciencias económicas y administrativas)

ISBN 978-958-5498-30-3

1. Cadena de suministro 2. Administración industrial 3. Logística en los negocios 4. Control de inventarios I. Tit. II. Serie 620.860218 cd 22 ed. A1648102

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango.

Cadenas de suministro global: perspectiva desde la gestión de existencias

© Gabriel Ernesto Barragán Moreno

© Editorial Uniagustiniana

Primera edición: octubre de 2019

ISBN (digital): 978-958-5498-31-0

ISBN (impreso): 978-958-5498-30-3

Editorial Uniagustiniana

Ruth Elena Cuasialpud Canchala, Coordinadora Editorial y de Difusión

Mariana Valderrama Leongómez, Asistencia editorial

Evaluación por pares

Recepción: septiembre de 2018

Evaluación: abril de 2019

Correcciones del autor y aprobación final: junio de 2019

Edición

Communitas Colombia S.A.S., Corrección de estilo, diseño de portada y diagramación

Sede Tagaste, Av. Ciudad de Cali # 11B – 95

editorial@uniagustiniana.edu.co

Impreso y hecho en Bogotá, Colombia. Depósito legal según Decreto 460 de 1995.

La Editorial Uniagustiniana se adhiere a la iniciativa de acceso abierto y permite libremente la consulta, descarga, reproducción o enlace para uso de los contenidos de esta obra, bajo la licencia Creative Commons de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



Contenido

Objetivos	11
Metas	11
Introducción	13
Unidad 1. Cadenas de suministro global	17
Resumen	17
Introducción	19
1.1 Generalidades de la cadena de suministro global	21
1.1.1 Procesos de la cadena de suministro	22
1.1.2 Decisiones estratégicas en la cadena de suministro	24
1.2 Cadenas de suministro robustas	26
1.2.1 Estrategias robustas y almacenamiento	28
1.3 Estructuración de la cadena de suministro global	30
1.3.1 Contexto global de localización de instalaciones	32
1.3.2 Técnicas básicas de localización	34
Ejercicios, talleres y actividades	46
Unidad 2. Planificación y gestión de almacenes y centros de distribución	51
Resumen	51
Introducción	53
2.1. Planificación de almacenes y centros de distribución	55
2.1.1 El almacenamiento como proceso logístico	55
2.2 Proyección de almacenes y centros de distribución	56
2.2.1. De los pronósticos como primer paso	57
2.2.2. Tecnologías de almacenamiento	61
2.3. Administración de almacenes y centros de distribución	65
2.3.1 De la caracterización de los productos	65
2.3.2 Sistemas de posicionamiento y localización de mercancías	66
2.4 Control de almacenes y centros de distribución	70
2.4.1 Indicadores de gestión usados en almacenes y centros de distribución	72
Ejercicios, talleres y actividades	73
Referencias	77

Unidad 3. Gestión de los inventarios	79
Resumen	79
Introducción	81
3. 1. Aspectos generales de los inventarios	82
3.1.1. Tipología de los inventarios	84
3.1.2. Categorización de materiales y/o productos	85
3.2. Definición de políticas de inventarios	90
3.2.1 Los costos asociados a las políticas de inventarios	97
3.3. Los inventarios en las cadenas de suministro.	101
3.4 Programación de suministro en cadenas de suministro global	109
3.4.1 Planificación de requerimiento de materiales	111
Ejercicios, talleres y actividades	119
Referencias	122

Lista de tablas

Tabla 1. Función de costos por ubicación	37
Tabla 2. Evaluación de las funciones de costo	38
Tabla 3. Coordenadas, costos y demanda estimada	40
Tabla 4. Tabla de resultados	41
Tabla 5. Resultados de recalcu	42
Tabla 6. Valoración de factores	45
Tabla 7. Análisis de datos históricos de demanda	57
Tabla 8. Medios técnicos de almacenamiento	62
Tabla 9. Parámetros de evaluación de tecnologías de almacenamiento	63
Tabla 10. Ejemplo datos de entrada para cálculo de relación volumen surtido	63
Tabla 11. Ejemplo datos de entrada para localización por popularidad	68
Tabla 12. Categorización de materiales por popularidad	69
Tabla 13. Indicadores de gestión más usados en procesos de almacenamiento	72
Tabla 14. Datos de entrada	87
Tabla 15. Resumen de cálculo	88
Tabla 16. Comportamiento del inventario	91
Tabla 17. Demanda e inventario resultante	92
Tabla 18. Demanda e inventario resultante nuevo inicio de ciclo	94
Tabla 19. Evaluación de función de costo total	99
Tabla 20. Política de inventarios	105
Tabla 21. Política de inventario agregada	108
Tabla 22. Condiciones iniciales del sistema	113
Tabla 23. Demanda estimada producto terminado	114
Tabla 24. Planificación producto terminado	114
Tabla 25. Planificación de requerimientos SUB2	115
Tabla 26. Planificación de requerimientos SUB1	117
Tabla 27. Planificación de requerimientos COMP1	117
Tabla 28. Planificación de requerimientos COMP2	118
Tabla 29. Planificación de requerimientos COMP3	118
Tabla 30. Planificación de requerimientos COMP4	119

Lista de figuras

Figura 1. Distancia rectangular	35
Figura 2. Distancia Euclidea	36
Figura 3. Evaluación de función de costos por ubicación	38
Figura 4. Ubicación espacial centros de consumo	41
Figura 5. Ubicación definitiva centro de distribución	42
Figura 6. Tabla de distribución normal	60
Figura 7. Planimetría y ubicaciones	70
Figura 8. Ventas anuales y el acumulado porcentual	89
Figura 9. Función clásica de inventarios	90
Figura 10. Función de inventarios con demanda no uniforme	93
Figura 11. Inventario desplazando inicio de ciclo	94
Figura 12. Estimación de espacio para almacenamiento inicial	95
Figura 13. Estimación de espacio para almacenamiento nuevo inicio de ciclo	96
Figura 14. Función de costo total	99
Figura 15. Explosión de materiales	111

A todos aquellos que con su interés por comprender el mundo de una manera distinta han motivado la reflexión y el estudio de un tema tan extenso y apasionante como la logística global.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar las temáticas relacionadas con el almacenamiento y los inventarios y su relación con las cadenas de suministro global contemporáneas a fin de proporcionar un recurso académico que ayude a la apropiación de conocimiento en el área a través de la clara exposición conceptual y la formulación de actividades que permitan la aplicación de conceptos.

Objetivos específicos

- Establecer el marco conceptual asociado a las cadenas de suministro global y la pertinencia y funcionalidad de la integración de instalaciones para el almacenamiento y la distribución
- Explicar las herramientas fundamentales empleadas en la planificación y gestión de almacenes y centros de distribución
- Exponer los principios de gestión de inventarios y el abastecimiento en cadenas de suministro global

Metas

Los estudiantes, al finalizar el libro, estarán en capacidad de:

- Identificar las variables globales que inciden en la localización de cualquier instalación de la cadena de suministro y, particularmente, instalaciones para el almacenamiento y la distribución.
- Aplicar técnicas básicas de localización de almacenes y centros de distribución a partir de criterios objetivos y subjetivos.
- Reconocer el proceso para el dimensionamiento de almacenes y centros de distribución y gestionar ubicaciones bajo criterios de eficiencia.
- Definir políticas de inventarios en la cadena de suministro a partir de la categorización precisa de materiales e insumos y criterios de eficiencia del sistema.
- Programar el abastecimiento en una cadena de suministro global a partir de políticas de inventario establecidas.

Introducción

La globalización de los mercados ha provocado una serie de cambios en la manera como se perciben los negocios y la dimensión del concepto de competitividad. La apertura de las economías sugiere inicialmente la posibilidad de atender mercados distantes, lo mismo ocurre con el aprovisionamiento de recursos debido a que se aprovecha tal condición para encontrar fuentes de suministro que beneficien a las compañías. En consecuencia, se relegan a un segundo plano las ventajas que ofrece la transformación y comercialización en el país de origen desplazando el modelo de la ventaja comparativa.

Las condiciones sociales, políticas y económicas de algunos países representan, para el fabricante, la oportunidad de acceso a un amplio portafolio no solo de proveedores de materiales sino de servicios; provocando el fenómeno mundial de fragmentación del proceso productivo y como práctica común la tercerización de todo tipo de proceso. Bajo este contexto, se percibe a nivel mundial la competencia de cadenas de suministro configuradas bajo principios sólidos de coordinación y cooperación que aseguren prácticas logísticas eficaces.

El éxito de las cadenas de suministro está en función de la sincronización de flujos entre las partes que la integran, no obstante, las grandes distancias, la fluctuación de la demanda, la volatilidad de las divisas, entre otras, pueden representar riesgos para la cadena de suministro ocasionando la disrupción de su normal operación y afectando los niveles de servicio y la satisfacción al cliente. La estructuración de las cadenas de suministro global considera configuraciones robustas a través de la adopción de capacidades redundantes como ubicación de inventarios estratégicos o identificación de proveedores alternos, por citar solo un par de ejemplos, capaces de reducir la vulnerabilidad del sistema a partir de la anticipación y preparación frente a cambios pronosticados.

Los inventarios estratégicos y, por supuesto, el almacenamiento, en este contexto, asume un papel relevante para la respuesta eficaz de las cadenas de suministro contemporáneas; aunque, es importante destacar que las estrategias robustas resultan costosas ya que obedecen a excesos de capacidad y, por ello, exigen ser dimensionados y gestionados de manera precisa para la operación eficiente de la cadena de suministro en entornos turbulentos.

La temática tratada en este texto es de gran pertinencia para todo encargado de tomar decisiones relacionadas con el abastecimiento en las cadenas de suministro global, la gestión de inventarios y el almacenamiento, el texto presenta un enfoque

holístico donde el proceso de gestión de existencias es abordado desde el contexto del comercio internacional y, por ende, invita al lector a la reflexión sobre la toma de decisiones en este tipo de escenarios y las repercusiones de las mismas en la red de valor.

El contenido del texto se estructura en tres unidades dentro de las cuales se realiza, inicialmente, un despliegue teórico que soporta el tema tratado y, a través de ejemplos, se asocia la teoría a la práctica con un lenguaje simple y preciso buscando la fácil asimilación del tema por el estudiante. Al finalizar cada unidad se presenta una serie de actividades que permitirán afianzar los conceptos y herramientas tratadas en su desarrollo.

De manera más amplia, el texto aborda, en su primera unidad, la naturaleza de las cadenas de suministro global y las decisiones estratégicas que las caracterizan. Siguiendo a Ballou (2004), lo anterior se relaciona con las estrategias robustas y la importancia que tienen para las mismas, la ubicación de instalaciones para el almacenamiento y la distribución atendiendo la imperiosa necesidad de reducir la vulnerabilidad de la cadena de suministro en entornos de rápido cambio como los actuales.

La segunda unidad presenta los principios generales para el dimensionamiento de almacenes y centros de distribución propuestos por Saldarriaga (2017), así como algunos criterios para la selección del sistema de almacenamiento. Adicionalmente, se presentan los principios para la gestión eficiente de las ubicaciones dentro de instalaciones dedicadas al almacenamiento y propone, finalmente, algunos indicadores de gestión expuestos por Mora (2013) para el control de la gestión en almacenes y centros de distribución.

La última unidad explica la definición de políticas de inventarios y las consideraciones específicas a tener en cuenta por las cadenas de suministro para el logro de sistemas de inventarios eficientes; esto, siguiendo diversas estrategias desarrolladas por Chopra (2013). Finalmente, se plantea la planificación de requerimiento de materiales tratada por Ballou (2004) como herramienta efectiva en la gestión del abastecimiento de cadenas de suministro global.

El contenido del texto precisa el desarrollo de habilidades por parte del estudiante orientadas a:

- Caracterizar las cadenas de suministro global y las decisiones estratégicas que comprenden.
- Reconocer los principios asociados a la gestión de almacenes y centros de distribución.
- Identificar los modelos básicos para la gestión de inventarios y el abastecimiento en la cadena de suministro global.

El planteamiento del texto procura exponer los fundamentos de la gestión de inventarios y los almacenes en las cadenas de suministro global, no obstante, no profundiza sobre la naturaleza de los materiales a almacenar (materiales peligrosos, cadena de frío, etc.) que exigen un tratamiento especial en términos de condiciones de manipulación y custodia, entre otras. Por otra parte, existen múltiples herramientas de naturaleza probabilística que permiten apoyar los procesos de planificación del abastecimiento y que no se tratan en el texto, así como aspectos legales y condiciones particulares que caracterizan el proceso de compras y que definitivamente asocian variables al abastecimiento en contextos globales.

Referencias

- Ballou, R. (2004). *Logística: administración de la cadena de suministro*. (5a. ed.). México: Pearson.
- Chopra, S. y Meindl, M. (2013). *Administración de la cadena de suministro, estrategia, planeación y operación* (5ta ed.). Ciudad de México: Pearson Prentice Hall
- Saldarriaga, D. (2017). *Diseño, optimización, y gerencia de centros de distribución*. Bogotá: Zonalogistica Editorial.

Unidad 1

Cadenas de suministro global

Resumen

La dinámica actual de la actividad comercial global, caracterizada por la configuración de múltiples cadenas de suministro, cuyos nodos se distribuyen por el mundo, supone estructuras organizacionales mucho más expuestas a la incertidumbre y riesgos propios de la logística del comercio internacional. Un sinnúmero de situaciones impredecibles puede provocar la interrupción del suministro entre los nodos afectados con el impacto negativo correspondiente al nivel de servicio. Así las cosas, resulta necesario desarrollar una serie de estrategias que permitan mitigar el riesgo provocado por la incertidumbre del entorno. La robustez requerida por las cadenas de suministro global no solo resulta de capacidades logísticas completamente integradas en la cadena, sino que además se suele lograr a través de la disposición redundante de recursos (nodos de almacenamiento y/o capacidad de manufactura adicional entre otros) que permitan la absorción de la variabilidad e impidan la afectación al nivel de servicio propuesto. En las siguientes páginas se desarrolla el contexto actual de las cadenas de suministro contemporáneas, las características de su operación, las estrategias robustas y la localización de instalaciones logísticas como parte de la estructuración de cadenas de suministro global.

Palabras clave: cadenas de suministro global, procesos logísticos, tercerización, localización de instalaciones.

Introducción

La disponibilidad de recursos asociados a un proceso de manufactura dispersos por todo el mundo, la integración económica de naciones que facilitan la compra y venta de materias primas y la flexibilidad contractual que permite contratar servicios de gran valor agregado a través de figuras de integración vertical, son solo algunos de los elementos que caracterizan la dinámica de los mercados globales actuales. Este contexto permite inferir que los grandes beneficios que puede lograr un negocio resultan de la ubicación de fuentes de suministro (no solo de materiales, posiblemente también de mano de obra) en lugares distantes donde, por condiciones diversas, sus precios sean lo suficientemente bajos que permitan competir en el mundo.

La interacción entre proveedores y clientes de manera secuencial, es decir, considerar a los proveedores de mis proveedores y a los clientes de mis clientes genera una extensa cadena que, a través de estrategias integradas y procesos colaborativos, logran grandes beneficios para todas las organizaciones que la integran. A este tipo de configuraciones se les denomina cadenas de suministro donde el contexto global tratado en líneas anteriores denota su alcance.

La cadena de suministro para Lambert y Pohlen (2001) se define como el:

Conjunto de empresas eficientemente integradas por los proveedores, los fabricantes, distribuidores y vendedores mayoristas o detallistas coordinados que busca ubicar uno o más productos en las cantidades correctas, en los lugares correctos y en el tiempo preciso, buscando el menor costo de las actividades de valor de los integrantes de la cadena y satisfacer los requerimientos de los consumidores.

Esta definición hace énfasis en la integración eficiente de las compañías que la componen y, es tal vez allí, donde radica el éxito de tales estructuras dado que la integración precisa permite la toma oportuna de decisiones obedeciendo a intereses de la cadena y no a intereses individuales de cada compañía.

Las cadenas de suministro deben ser administradas al igual que las compañías, lo único que cambia es que deben considerarse los rasgos estratégicos, tácticos y operativos de todos los actores en conjunto, así como las restricciones e identificación de eslabones débiles, de manera que se logre la explotación eficaz de las

capacidades integradas y, en consecuencia, los sistemas de información se conviertan en recursos que facilitan el desarrollo de estrategias colaborativas y la toma de decisiones a partir de información compartida. La gestión de la cadena de suministro requiere entender la dinámica de los flujos que la caracterizan (flujos de material, dinero e información por mencionar solo algunos), y los procesos que permiten su circulación por las entidades que componen la cadena de manera ininterrumpida y sincronizada ya que de ello depende la eficiencia del sistema; la logística juega entonces un rol determinante en este propósito.

Los procesos de gestión, en cualquier caso, implican la toma de decisiones sobre el sistema. Para Ballou (2004) dichas decisiones deben estar alineadas con los requerimientos del cliente y responder a tres dimensiones claves como: transportes, inventarios y ubicación de instalaciones; no obstante, la satisfacción del cliente no se logra, con frecuencia, a causa de eventos que interrumpen la operación planeada de la cadena de suministro, puede tratarse de un evento climático que retrasa la entrega de pedidos, un siniestro que impide la operación de un proveedor clave o la huelga en una terminal portuaria que anula temporalmente las rutas marítimas establecidas. Estos son solo algunos de los casos que pueden afectar la cadena de suministro y que actualmente concentran la atención de administradores y decisores que definen estrategias de diversa índole para hacer robusta la cadena de suministro, es decir, logran desarrollar la capacidad de soportar interrupciones parciales de suministro tras un evento disruptivo, usualmente a través de capacidad redundante (inventarios estratégicos, capacidad de producción, proveedores alternos para recursos vitales, etc.) en puntos críticos de la cadena, de manera que puedan absorber los efectos adversos del evento presentado, reivindicando la pertinencia de los inventarios en la cadena de suministro.

Esta unidad aborda de manera precisa la naturaleza de las cadenas de suministro global y las estrategias robustas, así como la importancia de los procesos de almacenamiento para cada una de ellas. Se exponen, además, modelos clásicos para la ubicación de instalaciones en el proceso de estructuración de la cadena de suministro, específicamente, la localización de centros de distribución bajo consideraciones de tipo económico (costos asociados a la ubicación) y criterios subjetivos (acceso a recursos, seguridad, estabilidad política, etc.). Cabe recordar que la importancia del tema reside en los enfoques clásicos que consideran el mantenimiento de unidades en existencia como generadores de gasto y nula generación de valor en la mayoría de los casos, lo cual hace necesario el estudio de decisiones que lo consideran pertinente sin afectar la eficiencia de la cadena de suministro; al final de la unidad el estudiante encontrará un conjunto de actividades que le permitirá afianzar los conceptos tratados.

Generalidades de la cadena de suministro global

La eficacia de la gestión tradicional de las organizaciones yace en la búsqueda permanente del beneficio individual de cada una de las empresas que intervienen en el propósito del negocio, quiere decir esto que, de manera independiente, se explotan los recursos de cada una de las compañías y, de igual forma, se persiguen los objetivos de cada una de ellas sin considerar las funciones conjuntas del negocio, desconociendo la posibilidad de explotar los recursos de manera conjunta logrando beneficios a través de economías de escala. La estructuración de las cadenas de suministro global sugiere la integración de absolutamente todos los actores (proveedores, fabricantes, distribuidores mayoristas, minoristas o cualquier otra figura dentro del canal, prestadores de servicios logísticos, entre otros.) en términos del intercambio coordinado y eficiente de flujos de información, materiales o recursos en general en el contexto mundial.

En las últimas décadas, el creciente número de relaciones comerciales entre países favorecidos por la globalización de los mercados ha determinado las características actuales de las cadenas de suministro con extensos tiempos de respuesta, uso permanente de transporte internacional, combinación de modos de transporte y uso intensivo de tercerización de procesos entre otros, lo cual supone, para su eficaz operación, no solamente una integración eficiente desde el punto de vista operativo con un sincronizado flujo de información entre integrantes sino, además, a través de relaciones contractuales perfectamente definidas.

La gestión de las cadenas de suministro global se desarrolla en un contexto de complejidad donde los esfuerzos, hacia el propósito último de satisfacer al cliente, trascienden de la integración de flujos físicos de mercancías a la eficaz distribución de poder al interior de la cadena de suministro y la integración a través de acuerdos contractuales que aseguren las funciones de las partes vinculadas. El *Council Logistics Management* (CLM) define la gestión de las cadenas de suministro 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 cadena de suministro”, de esta manera, se hace evidente el carácter estratégico de la relación sincrónica de las organizaciones vinculadas en una cadena de suministro global.

La eficiencia perseguida por modelos tradicionales de gestión de la cadena de suministro sugiere la eliminación de excedentes de inventario al interior de la estructura a través de la aplicación de principios *pull* que se consiguen con la integración precisa de los sistemas de información de las compañías que desarrollan

las funciones del negocio, así el sistema solamente producirá una vez se manifiesta la demanda del producto. En esencia, se vende para producir a diferencia de producir para vender como indica el esquema *push* y, cuyas consecuencias sobre la cadena de suministro derivaban de grandes cantidades de inventario.

Procesos de la cadena de suministro

La gestión orientada hacia el cliente y el compromiso de los actores de la cadena de suministro con él, dejan en evidencia la necesidad de asegurar la plena sincronización de las operaciones que permiten cumplir con el nivel de servicio establecido. La identificación oportuna de las necesidades del cliente sea este interno o externo, sugiere la gestión por procesos donde las relaciones de interfaz entre las compañías que componen la cadena tendrán gran relevancia. Para Chopra (2013) la gestión de las cadenas de suministro se reduce a la administración eficiente y eficaz de los siguientes tres grandes macroprocesos evidentes en cada una de las compañías:

- **Administración de las relaciones con el proveedor** (*Supply Relationship Management –SRM*). Comprende la administración de las relaciones con proveedores de todo tipo e incluye procesos de aprovisionamiento y desarrollo de estrategias colaborativas para el propósito. Las relaciones con los proveedores y, específicamente los procesos de negociación deben estar en función de las condiciones financieras y legales que inciden en la operación comercial; en contextos internacionales será pertinente establecer el modo y medio de pago y las condiciones arancelarias derivadas de acuerdos comerciales vigentes entre países asociados a las partes negociantes.

Los aspectos logísticos asociados con el término de negociación seleccionado por las partes también serán de interés, así como las cantidades y presentación de las unidades de producto negociadas; de acuerdo con el producto o servicio comprado o contratado, según sea el caso, es imprescindible el establecimiento de todas las condiciones que caracterizan la transacción, sin embargo, la relación con el proveedor tiene un alcance mucho mayor pues se enmarca dentro de la gestión de cadenas de suministro.

Las relaciones se trasladan al contexto colaborativo donde inicialmente se establece un flujo continuo de comunicación bidireccional cuyo propósito es permitir la oportuna emisión de pedidos, programación eficaz de los procesos de producción, gestión compartida de inventarios

y diseño de productos o desarrollo de proyectos conjuntos. La gestión de las relaciones con los proveedores exige, de esta manera, el apoyo de plataformas de información que los evalúen objetivamente a través herramientas analíticas, disponibilidad de métricas que evidencien su desempeño y, adicionalmente, es posible ante tal visibilidad la toma de decisiones proactivas que ayuden a reducir el riesgo en abastecimiento.

- **Administración de la cadena de suministro interna** (*Internal Supply Chain Management –ISCM*). La planeación estratégica resulta el eje central en este macroproceso pues se definen los objetivos del negocio y las estrategias a desarrollar para alcanzarlos; se caracteriza además por la integración de las capacidades logísticas de las compañías que la integran para, de esta manera, decidir la cantidad de instalaciones, su ubicación y funciones que se requieren para la satisfacción del cliente. Se establece la estrategia de operaciones, es decir, el conjunto de acciones a largo plazo que permitirán el uso óptimo de recursos para la generación de valor a través del proceso de manufactura o servucción según sea el caso, decisiones sobre la gestión de los inventarios en la cadena, los transportes y los aspectos técnicos y legales que constituyen la integración y que requiere el desarrollo de estrategias colaborativas. La planeación de la demanda, como desafío a la incertidumbre del mercado, hace parte igualmente de este macroproceso y tiene como objetivo la estimación de las ventas con el fin de establecer los niveles de inventario y la ubicación de los mismos en la cadena de suministro, así como la cantidad de cada uno de los recursos requeridos para la satisfacción del cliente y la programación del suministro. Se definen además los mecanismos de seguimiento y control en la cadena de suministro, puesto que solo en la medida en que se controlan las operaciones es posible desarrollar acciones de mejoramiento sobre el sistema, se establecen para el propósito protocolos de auditoría y métricas que permitan medir el desempeño de la cadena de suministro o cualquier otro mecanismo que lo permita.
- **Administración de las relaciones con el cliente** (*Customer Relationship Management –CRM*). La gestión integrada de los clientes sugiere, inicialmente, reconocer su valor individual de manera que sea fácilmente identificable por la cadena el beneficio obtenido por cada segmento y desarrollar así estrategias que permitan su captura, retención y fidelización. Para la cadena de suministro es fundamental estructurar sus procesos en función del cliente de manera que sea

posible proporcionar el mismo servicio a aquellos clientes que aportan el mismo beneficio para la cadena; independientemente del canal al cual pertenezcan. Los sistemas de información juegan, en este sentido, un papel primordial pues la única manera de reconocer e individualizar a los clientes es procesando gran cantidad de información de ellos y sus hábitos de consumo.

Los flujos de información entre los miembros de la cadena y, especialmente, aquellos que capturan los hábitos del cliente deben ser eficaces ya que de ello depende la velocidad de reacción de la misma. De esta manera, sobresa la necesidad de asegurar una gran cantidad de canales de contacto que permitan percibir los intereses del cliente en cualquier momento. Finalmente, es importante asociar una actividad más que consiste en la administración de pedidos y los sistemas de monitoreo y control de todo aquello que ocurre con cada uno de los clientes para así proporcionar al sistema la información necesaria para intervenir los procesos habituales y generar soluciones acordes con el cliente y su valor.

Decisiones estratégicas en la cadena de suministros

La gestión de las cadenas de suministro exige la toma de decisiones en diversos contextos. No obstante, la diferencia entre las decisiones está en función de su frecuencia, su costo y el horizonte de planeación afectado. En consecuencia es necesario, inicialmente, hacer referencia a las decisiones que se toman con mayor frecuencia, decisiones que no representan usualmente un alto costo para la organización y que son fácilmente automatizables, éstas se agrupan en las denominadas decisiones operativas y generalmente se toman por personal de bajo nivel dentro de la estructura jerárquica de las organizaciones; aunque se podrían referenciar muchas situaciones que dan origen a este tipo de decisiones, se puede citar como un ejemplo la decisión de emitir una orden de pedido.

Las decisiones tácticas, por su parte, se caracterizan por una afectación a mediano plazo al sistema, su costo es mayor si se compara con las decisiones operativas y, usualmente, son tomadas por niveles medios dentro de las organizaciones, en este nivel podemos citar como ejemplo la contratación de un espacio de almacenamiento temporal con un operador logístico. Con alguna frecuencia, este tipo de decisiones pueden ser programables, sin embargo, es

común encontrar atributos o criterios no cuantificables que dificultan el proceso de automatización de la decisión y, por lo tanto, exige la intervención de expertos que apoyen su toma.

Finalmente, las decisiones estratégicas son decisiones cuyos responsables se encuentran en los niveles directivos de las organizaciones, son decisiones que se suelen tomar en procesos de planificación de la cadena de suministro y por ello su impacto se proyecta a largo plazo, se caracterizan por ser decisiones costosas, no resultan fácilmente programables pues su criterio trasciende a atributos estratégicos; como ejemplo, es posible citar el desarrollo de relaciones con socios aguas arriba (*Upstream*) o aguas abajo (*Downstream*) en la cadena de suministro.

Para Ballou (2004) la planificación de las cadenas de suministro requiere de la toma de decisiones en cuatro planos que permitirán la configuración adecuada. El primer plano responde a la necesidad de orientar las operaciones hacia la satisfacción del cliente y consiste en establecer los objetivos y la promesa de servicio. Las decisiones estratégicas, en este aspecto, están asociadas a la naturaleza del producto y al costo de desabastecimiento en el sistema o incumplimiento en la entrega al cliente. Así, por ejemplo, si se trata de un medicamento o material quirúrgico especial el costo de desabastecimiento es muy alto (vidas humanas) y, por lo mismo, la cadena de suministro debe diseñarse para lograr un alto nivel de servicio, por su parte, si se trata de un producto de consumo masivo y distribución intensiva el valor de desabastecimiento no requiere de una configuración o servicios especiales en la cadena de suministro.

La promesa de servicio definida por la cadena de suministro debe responder a las necesidades de cada tipo de cliente o canal de distribución, es posible, por ejemplo, que el requerimiento en términos de tiempos de entrega para algunos clientes sea exigente por razones de mercado y, por lo tanto, requiera un sistema logístico que justifique económicamente la inclusión de altos niveles de inventarios y transporte aéreo.

A nivel estratégico, para las cadenas de suministro actuales resulta determinante tomar decisiones sobre la localización de instalaciones que permitan satisfacer las demandas del cliente pues la globalización de los mercados y la explotación de economías de escala, a través de la manufactura en regiones del mundo que favorecen los procesos, inducen a configuraciones con largas distancias entre plantas de manufactura y lugares de consumo. La ubicación geográfica de instalaciones con funciones logísticas (centros de distribución, centros de servicio al transportista o *Truck Centers*, etc.) resultan de gran valor para responder a la promesa de servicio establecida y tendrán que ser tratadas por el administrador de la cadena de suministro en consideración de criterios económicos, políticos, legales, culturales y todo aquel que afecte la instalación y su operación logística o fabril.

Las cadenas de suministro global, caracterizadas por la interacción de compañías de todo el planeta con distintos roles en la producción y comercialización de un bien o servicio, consideran de tipo estratégico toda decisión orientada a la localización de instalaciones ya que a partir de ellas es posible, por ejemplo, el desarrollo de nuevos mercados, el acceso a suministros claves o tecnología que apoye procesos de investigación y desarrollo. No obstante, la integración de las instalaciones localizadas con el resto de la cadena de suministro representa un desafío para el decisor pues se trata no solo de vincularla a través del flujo de información sino también de lograr el preciso desplazamiento de mercancías a través del sistema y, es allí, donde el transporte se concibe como factor clave para la eficiencia del sistema.

La selección del modo y medio de transporte, la contratación o compra de flota para su administración dentro de la compañía, los tipos de vehículos y sus capacidades para hacer más eficiente el sistema, definición de rutas y el intercambio modal, son solo algunas de las decisiones que debe tomar el decisor en relación con los transportes. A partir de ellas, el decisor logra la transferencia de mercancía bajo criterios de eficiencia y eficacia entre las diferentes instalaciones que componen la cadena de suministro.

Finalmente se hace referencia a las decisiones estratégicas de inventarios cuyo propósito no es otro que absorber la variabilidad del sistema evitando el desabastecimiento de recursos dentro de la cadena de suministro. Será labor del decisor establecer los volúmenes y la posición de los inventarios, así como la definición de técnicas para su control dentro de la cadena. Los criterios económicos en este tipo de decisiones, al igual que en las anteriores, son determinantes. Sin embargo, el valor estratégico de los inventarios ha tomado en la última década gran relevancia, dada la incertidumbre creciente que se percibe en el entorno comercial.

Cadenas de suministro robustas

La gestión de las cadenas de suministro globales ha evolucionado con el fin de perseguir diferentes objetivos a través del tiempo pues el entorno cambiante hace que las prioridades de las organizaciones en el mundo entero se ajusten de manera permanente a las condiciones de mercado. La tendencia marcada hacia la eficiencia provocó en décadas pasadas una especial atención por la eliminación de todo tipo de desperdicios dentro del sistema, se acuña para esto el término lean en los sistemas de manufactura y su traducción literal hacía referencia a sistemas de producción esbeltas, magras o “sin grasa”.

El modelo de gestión *Lean Manufacturing* persigue la máxima generación de valor a través del mínimo consumo de recursos en proceso de fabricación, razón por la cual evita la sobre producción, parte de la filosofía “justo a tiempo” y concibe necesaria la fabricación solamente cuando se evidencia su demanda, evitando de esta manera los costos asociados al almacenamiento (mermas, manipulación, obsolescencia, etc.), de la misma manera, los tiempos de espera y represamiento de materiales entre estaciones de trabajo, el transporte intramural, inventarios y todo proceso que no agrega valor y atentan contra la fluidez ininterrumpida que sugieren los principios logísticos, deben ser eliminados.

La gestión de la cadena de suministro adopta los principios *lean* y los extiende e implementa a toda estrategia que contribuya a la reducción de desperdicio, favoreciendo la tercerización de procesos en la mayoría de los casos logísticos y la operación bajo esquemas *Pull*, prácticas que, apoyadas por tecnologías de información y telecomunicaciones, permiten la excelente coordinación de los actores de la cadena y la eficiencia del sistema. Los principios de eficiencia que rigen la gestión de la cadena de suministro son cuestionados hoy en día ya que no se ajustan a las condiciones complejas que caracterizan los mercados globales. Desastres naturales, cambios repentinos de la demanda, terrorismo, regulaciones comerciales internacionales y escasez de recursos son solo algunos de los eventos que hacen vulnerable la cadena de suministro contemporánea (Pettit, Fixel y Croxton, 2010) y que la obligan a afrontar turbulencia, amenazas deliberadas, presiones externas e interdependencia entre socios de negocio.

El ajuste juicioso de las capacidades de las cadenas de suministro esbeltas limita la respuesta oportuna, ante cualquier cambio repentino en el entorno, que comprometa suministros o demandas y, en entornos competitivos, la insatisfacción del cliente puede tener un elevado costo, razón por la cual el concepto de eficiencia pasa a segundo plano y se impone el diseño de cadenas de suministro “robustas”. Para Dong & Chen (2007) la robustez es “la capacidad de una cadena de suministro para realizar sus funciones, incluso si presenta daños como la eliminación de algunos de los nodos y / o enlaces en una red”.

La definición de robustez implica soportar cualquier cambio repentino sin necesidad de reconfigurar la cadena de suministro, es decir que opera bajo parámetros establecidos por la cadena ante condiciones futuras inciertas. La reconfiguración de la cadena de suministro surge de sistemas estrictamente reactivos. Por su parte, la robustez surge del desarrollo de estrategias proactivas como el uso de múltiples modos de transporte, incremento de la capacidad de equipos y fuerza de trabajo, recursos multipropósito, flexibilidad en procesos, tecnología y modelos de contratación de mano de obra y estrategias de *postponement*, entre otras (Vlajic & van der Vorst, 2012).

Estrategias robustas y el almacenamiento

La robustez de las cadenas de suministro resulta de una juiciosa gestión de riesgos que involucra la identificación y posterior estimación de su frecuencia e impacto para la toma de decisiones en relación con las estrategias adecuadas para su mitigación. Desde el punto de vista estructural, la robustez requiere, de parte de las cadenas de suministro, el desarrollo de una serie de capacidades que permitirán su oportuna respuesta durante la ocurrencia de eventos disruptivos y, tales capacidades, igualmente, están en función de los riesgos que amenazan el sistema.

Con base en Santanu (2016), las cadenas de suministro robustas se estructuran sobre sólidas relaciones entre las compañías que la componen, la colaboración resulta como capacidad indispensable ya que el desarrollo de estrategias colaborativas repercutirá de manera positiva en la velocidad de respuesta de la cadena, así, las compañías que hacen parte del sistema comparten recursos y planifican acciones de manera conjunta logrando beneficios globales y la reducción de costos operacionales.

Otra capacidad requerida por la robustez de la cadena de suministro es la visibilidad de los actores del sistema y responde a la necesidad de conocer en tiempo real la turbulencia del entorno de manera que la información oportuna favorezca la toma de decisiones. De esta manera, las cadenas de suministro invierten gran cantidad de recursos en sistemas de telecomunicaciones y se esfuerzan de manera permanente en compartir información crítica del negocio que permita, no solo la planificación del sistema, sino también su velocidad de reacción. Para Santanu (2016), las capacidades anteriores son inherentes a un sistema robusto y permiten el desarrollo de la velocidad del sistema para la toma de decisiones a través de simplicidad en los procesos, información oportuna y eficaz.

Johnson & Nagarur (2012) establecen una serie de estrategias asociadas comúnmente con las compañías en su esfuerzo por mitigar el riesgo y en todas ellas se percibe la importancia del almacenamiento, como se describe a continuación:

- *Estrategia Multi-Sourcing*: consiste en la identificación y vinculación a la cadena de suministro a varios proveedores para componentes claves, de manera que pueda asegurarse el suministro de tales elementos en caso de perder por eventos disruptivos a uno de ellos. Los detalles de la relación entre la empresa focal y los proveedores exigen un vínculo contractual que proteja el precio y evite la especulación, establezca los tiempos de respuesta y sugiera el pago por la capacidad disponible incluso si no se requiere de ella. La adaptación del proveedor que soportará la

demanda durante la disrupción tardará un lapso, por lo tanto, es necesario considerar algunos detalles como la cantidad de producción con que se puede contar de inmediato, la capacidad que se puede reservar, el tiempo que va a durar un período de producción y el costo del servicio de emergencia, entre otras; razón por la cual, la estimación de la demanda y el dimensionamiento del inventario de seguridad para componentes críticos y su almacenamiento son determinantes para la continuidad del negocio.

- *Estrategia de riesgo compartido*: consiste en la distribución del riesgo entre los actores de la cadena de suministro logrando la participación de todos en la toma de decisiones y la colaboración para reducir costos en la operación. La estrategia permite, además, compartir costos de manera que si se considera pertinente la ubicación de inventario estratégico en las instalaciones de una de las compañías esta acceda sin objeción, lo contrario ocurriría si asumiera sola los costos y traumatismo que esto conlleva.
- *Estrategia de activos compartidos*: la posibilidad de compartir recursos dentro de la cadena de suministro resulta una poderosa fuente de redundancia y, por lo tanto, una eficaz manera de proporcionar robustez dentro del sistema, como ejemplo es posible citar la disponibilidad de un centro de distribución para el uso de diferentes compañías de la cadena; no obstante, la práctica de esta estrategia presenta una serie de obstáculos que radican en la pérdida de confidencialidad cuando de compartir recursos con competidores se trata.
- *Estrategia de aplazamiento*: conocida también como *postponement*, reconoce la oportunidad de mitigar los riesgos de variación en la demanda postergando la culminación del producto de manera que sea posible adaptarlo a nuevos mercados o cambios repentinos en las tendencias. El aplazamiento se concibe desde el diseño del producto persiguiendo la posibilidad de incorporar componentes en fases avanzadas del proceso de manufactura, de esta manera el agotamiento de un componente puede ser tratado a través de esta estrategia incluyendo el componente faltante incluso cuando el producto ya se encuentre en instalaciones para su distribución. Otro ejemplo será la personalización de productos de acuerdo con el país al que va dirigido, lo que implica cambio en el idioma en que se presentan sus instrucciones de uso o marcado del objeto.
- *Estrategia de descentralización*: consiste en la localización de múltiples instalaciones dentro de la cadena de suministro de manera que se

reduzca la vulnerabilidad del sistema provocada si se centralizan los procesos en una sola instalación. Los procesos de aprovisionamiento y el riesgo asociado a los mismos suelen ser tratados descentralizando el suministro y, de la misma manera, las cadenas de suministro suelen mitigar el riesgo de variación de la demanda a través de estrategias de centralización; de cualquier forma, la descentralización se asocia con un elevado consumo de recursos lo que la hace una práctica ineficiente, sin embargo, la centralización reconocida por su eficiencia hace vulnerable el sistema. Es necesario encontrar el balance entre las dos estrategias a fin de lograr la redundancia de capacidad requerida sin incurrir en costos excesivos, para ello, juega un papel determinante la localización de las instalaciones y su costo de emplazamiento y operación.

- *Estrategia de inventario y capacidad estratégica:* la redundancia consiste en respaldar las operaciones habituales con excesos de capacidad de operación o almacenamiento de manera que absorban las fluctuaciones producto de la incertidumbre. La eficacia de la estrategia resulta al establecer de manera precisa la cantidad y ubicación geográfica de tales excesos, así por ejemplo, si el proveedor de ciertos componentes se ubica en una región fuertemente afectada por el invierno sería pertinente ubicar un inventario estratégico del componente durante dicha temporada cerca a las instalaciones que los demanden. Es importante mencionar que se trata de una estrategia costosa y que su justificación se logra cuando se han identificado y dimensionado los riesgos asociados a la cadena de suministro.

Estructuración de la cadena de suministro global

Para Chopra (2013), la estructuración de cadenas de suministro en contextos globales responde a la necesidad de trasladar los bienes y/o servicios demandados hasta el lugar de consumo donde las distancias entre fuentes y mercados son significativas y, por lo tanto, la logística involucrada pasa de la simpleza que requiere la distribución local a la complejidad característica del comercio internacional. El proceso de estructuración consiste inicialmente en la configuración de instalaciones físicas, su localización geográfica, su dimensionamiento, la asignación de sus funciones dentro del sistema y su interacción con las demás instalaciones de la cadena; no obstante, precede un proceso de planificación de

la cadena en el que, siguiendo a Ballou (2004), es necesario recabar y analizar información relacionada con:

- El listado de productos y materiales a transportar, procesar y almacenar entre instalaciones.
- Ubicación geográfica de mercados, proveedores de bienes y servicios requeridos por el sistema.
- Demanda de cada producto y tipo de cliente en función del tiempo (estacionalidad).
- Costos de transporte y dinámica de las tarifas de acuerdo con volúmenes por transportar y naturaleza del modo de transporte.
- Tiempos estimados de transporte, transmisión de pedidos, y todo aquel que incida en los tiempos de resurtido.
- Costos de almacenamiento, costos de producción, costos de aprovisionamiento, costos de capital y procesamiento de pedidos.
- Promesa de servicio al cliente.
- Recursos disponibles en la cadena y limitaciones de capacidad asociadas.

La información requerida para la planificación permite al tomador de decisiones diseñar políticas de operación y desarrollar procesos que favorezcan a la cadena a través de la explotación conjunta de recursos atendiendo factores económicos, tecnológicos, macroeconómicos, políticos, de infraestructura y competitivos, entre otros (Chopra 2013). Los factores estratégicos para evaluar surgen de la visión de la cadena de suministro y establecen la dirección que tomará la organización para competir en los mercados, así como también definen la orientación de los recursos en términos de inversión. Los niveles de servicio suelen ser diferenciales y se definen como ventaja competitiva en la mayoría de los mercados, por ello, la ubicación de un centro de distribución cerca al mercado puede ser pertinente para asegurar la respuesta oportuna o la asignación de funciones a cada instalación de acuerdo con las características del cliente que se requiere atender desde allí.

Los factores tecnológicos para considerar están asociados con la relación existente entre los costos de manufactura y los costos de transporte; de manera que, para sistemas de manufactura ampliamente automatizados, y cuya explotación de las economías de escala es evidente, se suelen emplazar pocas instalaciones. La estrategia de ubicar múltiples instalaciones para la fabricación suele estar relacionada con costos fijos bajos, costos de transporte considerables y tiempos de respuesta corto a los mercados.

La proliferación de acuerdos comerciales internacionales ha provocado que los factores macroeconómicos tomen mayor importancia en la configuración de cadenas de suministro dado que de allí se deriva una serie de costos que inciden

en la toma de decisiones; los aranceles, los costos de transporte y la fluctuación de divisas y demanda internacional derivada de la misma serán motivo de análisis en la planificación de la cadena, al igual que los factores políticos inciden en las decisiones, pues la estabilidad de la nación reduce el riesgo relacionado con el gobierno, la sociedad, la seguridad y economía.

La oferta de transporte y la infraestructura existente entre los lugares cubiertos por la cadena de suministro también debe ser previsto, al igual que la fluctuación en fletes y combustibles de manera que se considere el comportamiento previo para proyectar el futuro en tal aspecto. La tendencia marcada hacia la integración de cadenas de transporte multimodal tanto en Norteamérica como en Europa son un claro ejemplo de la dinámica de los transportes y de las opciones que se presentan actualmente.

Finalmente, es importante mencionar la necesidad de estimar el costo logístico para cada configuración y optar por aquella menos costosa, pero, al mismo tiempo, más funcional en términos de servicio. Para ello, el decisor debe balancear los costos de transporte y los costos de inventario asociados a cada configuración, entendiendo que a mayor número de instalaciones usualmente se reducen los transportes, pero los costos fijos de operación en cada instalación y los costos por inventarios también se suelen incrementar. La ubicación de centros de distribución, procesos de almacenamiento y gestión de inventarios concentran especial interés por el valor estratégico que representan, pero además por la posibilidad de ser tercerizados como práctica común en todo el mundo.

Contexto global de localización de instalaciones

En la dinámica global que caracteriza la integración de cadenas de suministro actuales se percibe una importante tendencia hacia la deslocalización de actividades con el fin de lograr beneficios de diferente índole y que redunden en ventaja competitiva de las compañías, el Offshoring como estrategia de deslocalización y definida como la relocalización de actividades de su cadena de valor hacia países lejanos aprovechando reducción en costos de manufactura, acceso a recursos de valor estratégico, acceso a talento humano con competencias específicas e incluso como, establece Roza et al (2011), acceso a nuevos mercados. Por otra parte, el Nearshoring sugiere la deslocalización de actividades hacia países vecinos favorecidos en la mayoría de las ocasiones por fuertes esquemas de integración económica.

La configuración de cadenas de suministro requiere la localización de instalaciones que en condiciones actuales puede llevarse a cabo en cualquier lugar del mundo; los altos costos que reviste esta decisión y el impacto a largo plazo

hacen esta decisión eminentemente estratégica (Daskin, 2013). Por su parte, los procesos de deslocalización, según Mykhaylenko et al (2015), son una “práctica estratégica” que se logra a través de diversas figuras donde los costos fijos en la mayoría de los casos no son representativos pero cuya repercusión a largo plazo es indudable. Para Kasra Ferdows (1997) existen, por tal motivo, diferentes modelos de deslocalización de las instalaciones de manufactura atendiendo a las funciones que desempeñará dentro de la cadena de suministro y al propósito estratégico de la misma, dichos modelos se presentan a continuación:

- *Instalaciones Offshore*: obedecen al único propósito de producir a bajo costo productos terminados o componentes introducidos en una línea de fabricación posterior, caracterizado por la ausencia de labores de ingeniería y desarrollo de productos, así como de inversión; por la misma razón, la instalación de este tipo es ajeno a la selección de proveedores o actividades de negociación.
- *Instalaciones de origen*: surgen de igual manera que las instalaciones Offshore con el propósito de lograr unidades manufacturadas de bajo costo, pero, a diferencia de estas, las instalaciones de origen tienen control sobre procesos de negociación, selección de fuentes de suministro, configuración de procesos de manufactura, alteraciones de diseño de producto y actividades relacionadas con investigaciones y desarrollo. Dada la importancia de este tipo de instalaciones, su emplazamiento suele realizarse en lugares donde el costo fijo es bajo, la infraestructura logística está desarrollada y es posible encontrar mano de obra calificada a buen precio.
- *Fábricas de servicio*: se establecen con el propósito de evitar las barreras arancelarias, cargas tributarias o fluctuación de divisas, entre otras, y tienen como propósito satisfacer la demanda de una región específica. Suelen ser autónomas de manera mínima al hacer ajustes al diseño de acuerdo con el requerimiento de los clientes que deben satisfacerse.
- *Fábricas colaboradoras*: compiten con plantas locales de la misma compañía, pero su función radica en la incubación de nuevos procesos y planes pilotos para nuevas prácticas. Tienen autonomía en las actividades de investigación y desarrollo y participan en procesos claves de abastecimiento.
- *Fábricas de avanzada*: son instalaciones que suelen ser ubicadas en

áreas caracterizadas por la concentración de competidores y proveedores desarrollados. La ubicación de plantas de este tipo se realiza en clave de la recolección de información sobre el comportamiento de nuevos mercados con competidores de alto nivel.

- *Fábricas líderes*: se caracterizan no solo por recolectar información, sino que, además son capaces de transformar la información recolectada en conocimiento, razón por la cual sus dirigentes tienen autonomía total en procesos de investigación y desarrollo y sus empleados con frecuencia tienen contacto directo con clientes y proveedores claves para los procesos de transformación.

La categorización e identificación del valor estratégico de las instalaciones establecido por Kasra Ferdows (1997), comprende solamente las instalaciones dedicadas a la manufactura, no obstante, los sistemas de distribución internacional son grandes generadores de valor y, por ende, la localización de instalaciones dedicadas a almacenar bajo cualquier formato (mayoristas, minoristas, *Cross-docking*, etc.) son objeto de un amplio análisis por los gerentes de cadenas de suministro y responden de igual manera a principios estratégicos y de eficiencia dentro del sistema.

Técnicas básicas de localización

La localización de instalaciones en la cadena de suministro global requiere el análisis juicioso de las bondades que poseen todas y cada una de las localizaciones posibles que puede adoptar la compañía, sin embargo, es claro que tal análisis puede consumir gran cantidad de tiempo y recursos de otra índole. Por lo tanto, las técnicas clásicas de localización consideran determinante la distancia entre fuentes de suministro o mercados y, como consecuencia, los costos de transporte. Para la localización de instalaciones, Daskin (2013) establece dos maneras de cálculo para la distancia geográfica entre dos puntos. Las distancias rectangulares o distancias Manhattan y las distancias euclideas. Las primeras tratan de incorporar la distancia a recorrer por un vehículo terrestre entre dos puntos, por lo tanto, corresponde a la unión de dos puntos en el plano a través de líneas unidas formando ángulos de 90° lo cual sugiere la forma de calles y carreras tal como se muestra en la siguiente figura:

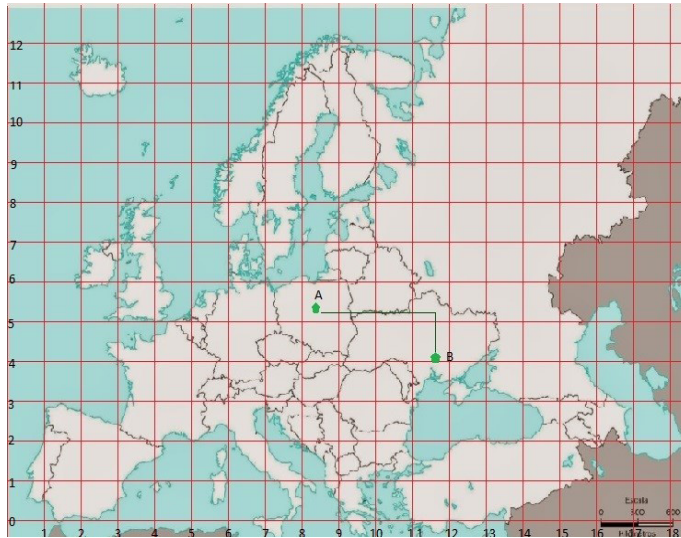


Figura 1. Distancia rectangular. Fuente: adaptada de imágenes totales (2018).

Los puntos A y B que se muestran en la figura 1 tienen asociadas unas coordenadas que permitirán estimar la distancia rectangular entre los dos puntos. Suponga que el punto A se ubica en (8.4,5.3) donde 8.4 es su posición en X y 5.3 su posición en Y. De igual manera, la ubicación de B corresponde a las coordenadas (11.6, 4.1) así que la aproximación de la distancia, a través del método rectangular (Manhattan), se define de la siguiente manera para el ejemplo:

$$d [(X_i, Y_i);(X_j, Y_j)] = | X_i - X_j | + | Y_i - Y_j |$$

La expresión para los datos del ejemplo queda:

$$d [(8.4,5.3); (11.6, 4.1)] = | 8.4 - 11.6 | + | 5.3 - 4.1 | = 4.4 \text{ unidades de distancia.}$$

Suele multiplicarse la expresión por una constante de escala, que hace referencia a la escala que tiene el mapa con el cual se trabaja de manera que el resultado final se aproxime a la distancia real entre los dos puntos en unidades de distancia como kilómetros o millas.

Las distancias euclídeas, por su parte, estiman la distancia entre dos puntos considerando una línea recta entre ellos como se muestra en la figura 2:

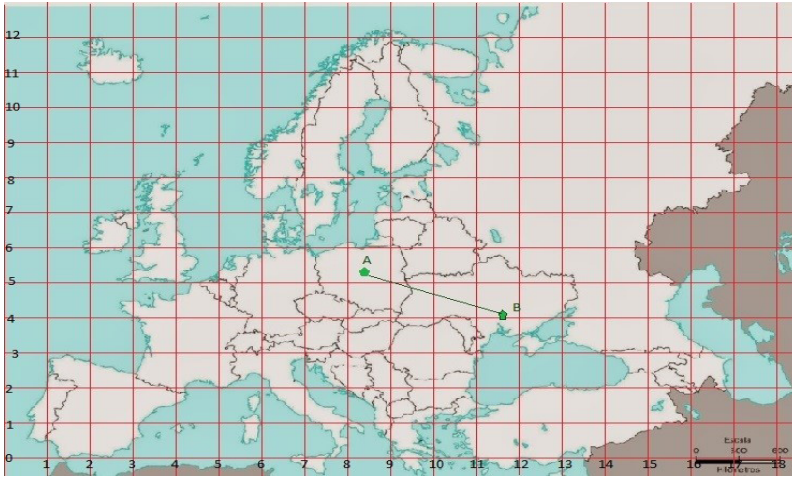


Figura 2. Distancia Euclídea. Fuente: adaptada de imágenes totales (2018).

Los puntos A y B que se muestran en figura 2 tienen asociadas las mismas coordenadas señaladas en la figura 1; el punto A se ubica en (8.4,5.3) y la ubicación de B corresponde a las coordenadas (11.6, 4.1). De esta manera, la aproximación de la distancia, a través del método euclidiano, se define de la siguiente manera para el ejemplo:

$$d [(X_i, Y_i); (X_j, Y_j)] = \{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2\}^{0.5}$$

La expresión para los datos del ejemplo queda:

$d [(8.4,5.3); (11.6, 4.1)] = \{(8.4 - 11.6)^2 + (5.3 - 4.1)^2\}^{0.5} = 3.41$ unidades de distancia.

Al igual que las distancias rectangulares, estas también pueden aproximarse a distancias reales incorporando una constante de escala, sin embargo, es importante notar la diferencia con las anteriores ya que la distancia euclídea es funcional cuando se trata de incorporar la conexión de dos instalaciones a través de una ruta aérea, es, además, evidente que la distancia euclídea entre dos puntos siempre es menor que la distancia rectangular entre los mismos. A continuación, se presenta la aplicación del cálculo de distancias previo en algunas técnicas clásicas de localización, no obstante, es importante mencionar que el desarrollo intensivo de cartografía digital y sistemas de georreferenciación permiten, hoy en día, trabajar con distancias precisas.

Localización por punto de equilibrio

La localización de instalaciones en las cadenas de suministro globales está, en la mayoría de las ocasiones sujeta a condiciones económicas diversas ocasionadas por los contextos políticos y sociales propios de los países. Para algunos países, por ejemplo, la mano de obra puede resultar barata mientras que para otros lo será el valor del suelo o la carga tributaria, tal vez la manera de presentar la toma de decisión sobre la ubicación de una instalación exige el conocimiento preciso de los costos fijos y variables asociados al emplazamiento de la instalación en cada una de las ubicaciones candidatas.

Para Monks (1991) la localización por punto de equilibrio permite identificar el lugar eficiente para el procesamiento de los volúmenes proyectados por la compañía, para ello sugiere la construcción de una función de costos lineal para cada uno de los lugares candidatos de la forma:

$$CT_i = CF_i + CV_i(Q)$$

Donde:

- CT_i = Costo total del emplazamiento y operación en la ubicación i
- CF_i = Costo fijo relacionado con la localización en i
- CV_i = Costo variable relacionado con la localización en i
- Q = Cantidades a procesar proyectadas

Veamos un ejemplo

Suponga que se requiere la localización de un centro de distribución que sea capaz de asegurar el suministro en el mercado suramericano y para ello se identifican tres lugares que satisfacen los requerimientos estratégicos de la compañía y de los cuales se estiman los costos expuestos en la tabla 1:

Tabla 1

Función de costos por ubicación

	CF	CV	Función de costo total
Ubicación 1	\$ 31.000	\$ 14	CT ₁ =3100+ 14 Q
Ubicación 2	\$ 14.000	\$ 120	CT ₂ =14000+ 120 Q
Ubicación 3	\$ 9.000	\$ 210	CT ₃ = 9000+ 210 Q

Fuente: elaboración propia.

Los costos identificados dan origen a tres funciones de costos lineales que tendrán que ser evaluadas para las cantidades de unidades a procesar de manera que sea posible notar la conveniencia económica según las cantidades. La evaluación de las funciones se muestra a continuación:

Tabla 2

Evaluación de las funciones de costo

Q	Costo total 1	Costo total 2	Costo total 3
0	31.000	14.000	9.000
20	31.280	16.400	13.200
40	31.560	18.800	17.400
60	31.840	21.200	21.600
80	32.120	23.600	25.800
100	32.400	26.000	30.000
120	32.680	28.400	34.200
140	32.960	30.800	38.400
160	33.240	33.200	42.600
180	33.520	35.600	46.800
200	33.800	38.000	51.000

Fuente: elaboración propia.

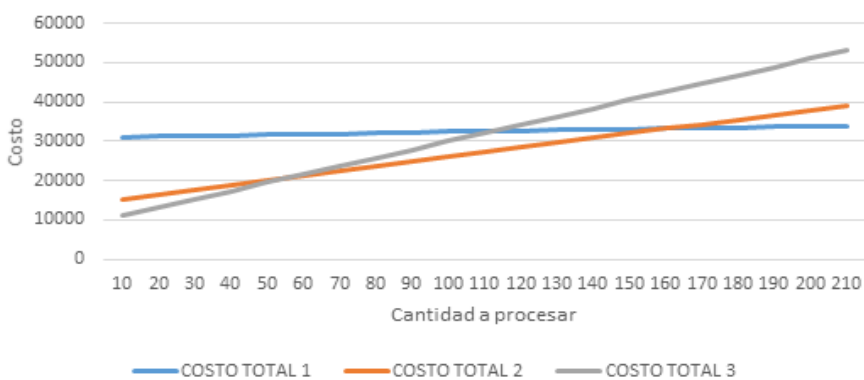


Figura 3. Evaluación de función de costos por ubicación. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, el costo total asociado a la ubicación 3 es mínimo si se compara con las otras tres ubicaciones hasta el punto en el cual se cruza su función (gris) con la función de costo total de la ubicación 2 (naranja). Dado que gráficamente no se puede saber con precisión el punto de contacto entre las dos funciones, es necesario encontrarlo por igualación, de manera que el punto de corte será:

$$\begin{aligned} 14000 + 120 Q &= 9000 + 210 Q \\ 5000 &= 90Q \\ 55,5 &= Q \end{aligned}$$

Lo cual quiere decir que para volúmenes a procesar en la instalación inferiores a 55,5 la mejor ubicación será la número 3, de ahí en adelante la función de costo que muestra el valor mínimo es la correspondiente a la ubicación 2 (naranja) hasta el punto en el cual se cruza con la función de costo de la ubicación 1 (azul). Procediendo de la misma manera, el punto de corte será:

$$\begin{aligned} 14000 + 120 Q &= 31000 + 14 Q \\ 17000 &= 106 Q \\ 160,3 &= Q \end{aligned}$$

Como conclusión, se puede afirmar que, para volúmenes a procesar entre 56 y 160 unidades, la instalación más eficiente se logrará ubicando en 2 y, para cantidades mayores a 160, la mejor ubicación será la 1.

Localización por centro de gravedad

Para Ballou (2011) se trata de la ubicación de una instalación sencilla donde el criterio de ubicación es el costo de transporte de las unidades demandadas dentro del sistema, el modelo busca la minimización del costo total de la operación de transporte definida como sigue:

$$\text{Costo Total} = \sum V_i C_i d_i$$

Donde:

V_i = Volumen a transportar al centro de consumo i

C_i = Costo de transporte por unidad de producto al centro de consumo i .

d_i = Distancia a recorrer desde la ubicación de la instalación al centro de consumo i .

La metodología de la técnica de localización se explica a continuación:

1. Ubicación espacial de los centros de consumo e identificación de los volúmenes de producto demandados y los costos de transporte hacia los mismos.
2. Generación de la solución inicial a través de:

$$X^* = \frac{\sum V_i C_i X_i}{\sum V_i C_i}$$

$$Y^* = \frac{\sum V_i C_i Y_i}{\sum V_i C_i}$$

3. A partir de la ubicación de la instalación en las coordenadas iniciales calculadas en el punto anterior es necesario que se calculen las distancias euclídeas desde este punto hasta cada uno de los centros de consumo.
4. Determine ahora las nuevas coordenadas considerando la distancia calculada entre la ubicación inicial de la instalación y los centros de consumo a través de:

$$X^{**} = \frac{\sum (V_i C_i X_i / d_i)}{\sum (V_i C_i / d_i)}$$

$$Y^{**} = \frac{\sum (V_i C_i Y_i / d_i)}{\sum (V_i C_i / d_i)}$$

5. Recalcular distancias según nueva posición X^{**} y Y^{**} .
6. Repita 4 y 5 hasta que no cambien la ubicación o el cambio sea despreciable.
7. Calcular costo total de la operación de transporte.

Veamos un ejemplo

Suponga que se quiere asegurar el suministro a 4 centros de consumo desde un centro de distribución que será localizado considerando únicamente los costos de transporte relacionados con la operación de distribución. La demanda, coordenadas de ubicación de cada centro de consumo y costos de transporte se presentan en la tabla 3.

Tabla 3

Coordenadas, costos y demanda estimada

Centro de consumo	Coordenadas	Costo de transporte (C)	Volumen demandado (V)
1	(5.8,3.2)	30	1.200
2	(6.1,5.4)	27	830
3	(8.4,3.9)	21	1.550
4	(8.5,5.7)	20	2.000

Fuente: elaboración propia.

Las coordenadas de ubicación surgen de la localización espacial de cada uno de los centros de consumo, tal como se percibe en la figura 4:

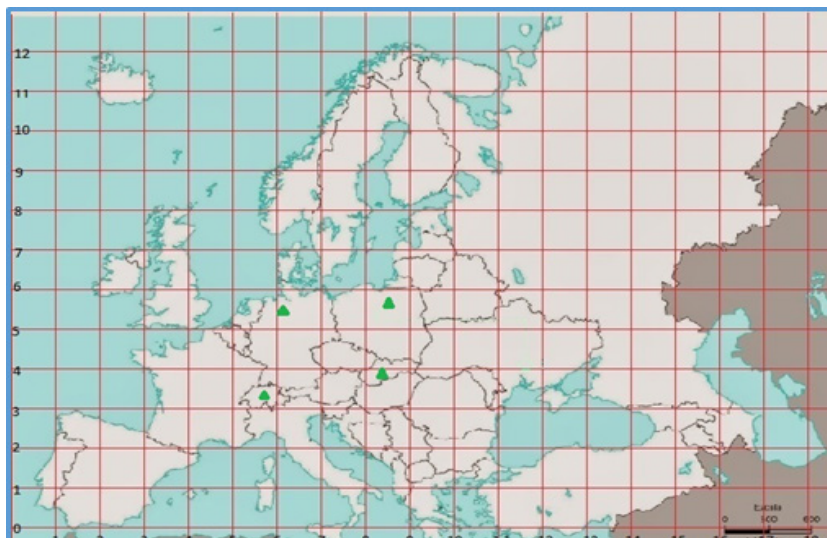


Figura 4. Ubicación espacial centros de consumo. Fuente: adaptada de imágenes totales (2018).

Y aplicando la metodología expuesta tenemos los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 4

Tabla de resultados

Centro de Consumo	Coordenadas	(C)	(V)	$V_i C_i$	$V_i C_i X_i$	$V_i C_i Y_i$
1	(5.8,3.2)	30	1.200	36.000	208.800	115.200
2	(6.1,5.4)	27	830	22.410	136.701	121.014
3	(8.4,3.9)	21	1.550	32.550	273.420	126.945
4	(8.5,5.7)	20	2.000	40.000	340.000	228.000
Totales				130.960	958.921	591.159

Fuente: elaboración propia.

Entonces:

$$X^* = 958921/130960 = 7.3$$

$$Y^* = 591159/130960 = 4.5$$

Las coordenadas calculadas (7.3,4.5) corresponden a la primera aproximación de la ubicación del centro de distribución requerido como se muestra en la figura 5:

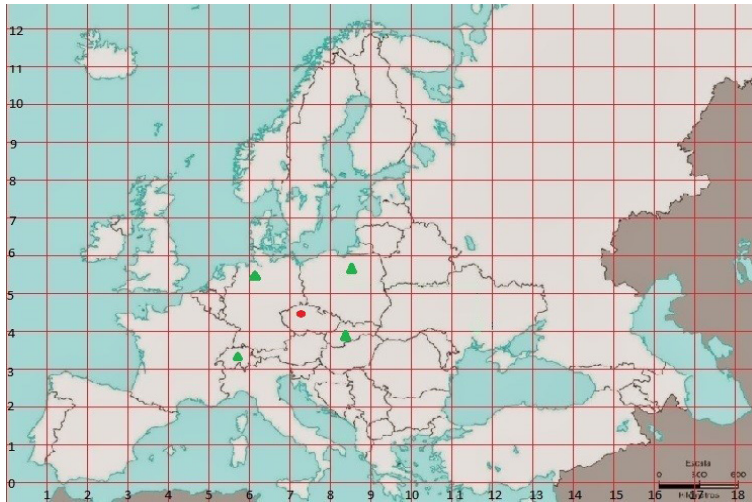


Figura 5. Ubicación definitiva centro de distribución. Fuente: adaptada de imágenes totales (2018).

Las unidades de distancia se pueden expresar en kilómetros o millas si se multiplican por el factor de escala del mapa que se está utilizando, sin embargo, para efectos del refinamiento de la solución no es necesario, los resultados se muestran en la tabla 5:

Tabla 5

Resultados de recálculo

Centro de Consumo	$V_i C_i$	$V_i C_i X_i$	$V_i C_i Y_i$	d_i	$V_i C_i X_i / d_i$	$V_i C_i Y_i / d_i$	$V_i C_i / d_i$
1	36.000	208.800	115.200	1,98	105.454,5	58.181,8	18.181,8
2	22.410	136.701	121.014	1,5	91.134	80.676	14.940
3	32.550	273.420	126.945	1,2	227.850	105.787,5	27.125
4	40.000	340.000	228.000	1,69	201.183,4	134.911	23.668,6
Totales					625.621,9	379.556,5	83.915,4

Fuente: elaboración propia.

Entonces:

$$X^{**} = 625621,9 / 83915,4 = 7,4 \qquad Y^{**} = 379556,5 / 83915,4 = 4,5$$

Como puede notarse, el recálculo de la posición del centro de distribución cambia poco con respecto a la posición inicial, lo que indica que el proceso iterativo debe detenerse y que la posición definitiva será (7,4,4,5). Las distancias euclídeas desde la ubicación definitiva del centro de distribución a cada uno de los centros de consumo, será:

$$\text{Para el centro de consumo 1...d} [(7,4, 4,5); (5,8,3,2)] = \{(7,4 - 5,8)^2 + (4,5 - 3,2)^2\}^{0,5} = 2,06$$

$$\text{Para el centro de consumo 2...d} [(7,4, 4,5); (6,1,5,4)] = \{(7,4 - 6,1)^2 + (4,5 - 5,4)^2\}^{0,5} = 1,58$$

$$\text{Para el centro de consumo 3...d} [(7,4, 4,5); (8,4,3,9)] = \{(7,4 - 8,4)^2 + (4,5 - 3,9)^2\}^{0,5} = 1,16$$

$$\text{Para el centro de consumo 2...d} [(7,4, 4,5); (8,5,5,7)] = \{(7,4 - 8,5)^2 + (4,5 - 5,7)^2\}^{0,5} = 1,62$$

Y, por lo tanto, el costo de la operación de transporte para tal posición es:

$$\begin{aligned} \text{Costo Total} = \sum V_i C_i d_i &= (36000 \times 2,06) + (22410 \times 1,58) + (32550 \times 1,16) \\ &+ (40000 \times 1,62) = \$212125 \text{ unidades monetarias.} \end{aligned}$$

La ubicación de la instalación será sensible ante cambios en los costos de transporte por unidad y a los volúmenes demandados por cualquier centro de consumo de manera que se asegure el mínimo costo de operación.

Localización por método sinérgico

A diferencia de las técnicas anteriores donde el criterio único es el costo, el método sinérgico propuesto por Louis Tawfik (1993) sugiere la incorporación de criterios no cuantificables en adición a aquellos que sí lo son, de manera que la técnica sugiere la identificación de una serie de factores cuya valuación permitirá la selección eficiente de ubicación de la instalación. Los factores se dividen en tres categorías de la siguiente manera:

- Factores críticos: hace referencia a la necesidad de existencia de ciertas condiciones para la localización y cuya ausencia implica el rechazo inminente del lugar. Por ejemplo, si la instalación requiere la disponibilidad de mano de obra especializada en ciertos procesos, este será un factor crítico y, de no existir tal disponibilidad en los lugares candidatos, estos serán descartados por la técnica.

- Factores objetivos: hace referencia a todos aquellos factores que pueden ser fácilmente cuantificables y cuyo costo en unidades monetarias es observable en cada uno de los lugares candidatos, puede tratarse de costos de mano de obra, por ejemplo.
- Factores subjetivos: hace referencia a aquellos factores de tipo cualitativo cuya valoración se puede hacer a criterio del decisor a través de su cuantificación en un intervalo definido, de esta manera, si se quisiera valorar la estabilidad política de un país se puede dar un valor numérico si previamente se define un intervalo, por ejemplo, de 0 a 0,5 como referencia.

La relación de los tres factores por cada una de las ubicaciones da como resultado un índice de localización (IL_i) y se calcula como sigue:

$$IL_i = (FC_i) [\alpha (FO_i) + (1 - \alpha) (FS_i)]$$

Donde:

FC_i = corresponde a la valoración total del factor crítico en la ubicación i . Los factores críticos se valoran con 1 si existen o con 0 la no existencia del factor en la ubicación i y posteriormente se realiza la suma binaria (no aritmética) por cada ubicación, de manera que la no existencia de un factor da como resultado total 0 para la ubicación i .

FO_i = corresponde a la valoración total del factor objetivo en la ubicación i expresado en fracción. $0 \leq FO_i \leq 1$.

Tenga en cuenta que los factores objetivos (FO) son estimados en unidades monetarias y que, por lo tanto, la suma aritmética de estos factores por localización no resulta en fracción; para esto, se hace necesario aplicar para cada ubicación la siguiente expresión

$$FO_i = \frac{1}{FOT \sum_{i=1}^N \frac{1}{(FOT)_i}}$$

Donde,

FOT_i = corresponde a la sumatoria de costos asociados en la ubicación candidata i y FS_i corresponde a la valoración total del factor subjetivo en la ubicación i . $0 \leq FS_i \leq 1$.

Supongamos ahora que se quiere localizar un centro de distribución que permita concentrar las unidades demandadas en el oriente europeo para lo cual se establecen como ubicaciones candidatas tres países distintos que por cercanía a los productores resultan convenientes. Los factores críticos definidos exigen la existencia de acuerdo comercial entre el país de manufactura y el país candidato, disponibilidad de tecnología y servicio para la operación y disponibilidad de mano de obra especializada.

Los aspectos económicos no menos importantes, comprenden impuestos, canon de arrendamiento y salarios y, finalmente, los factores subjetivos son la infraestructura con un 40 % de importancia con respecto al grupo de los subjetivos, la seguridad política con el 40 % y la estabilidad económica con el 20 %.

La matriz de valoración de factores y su totalización se muestran en la tabla 6, note que el valor asociado a cada uno de los factores subjetivos no excede el peso definido en inicio para cada uno de ellos y cuya sumatoria debe ser siempre iguala 1. El peso para cada uno de los factores mencionados resulta además de la experiencia e intuición del decisor, para lo cual trata de cuantificar los intereses de la compañía, su misión, visión y objetivos, y resulta pertinente que la definición de pesos se logre a través de dinámicas grupales donde participen varios miembros de la gerencia e incluso consultores externos. La gerencia estima además que para la toma de decisiones de esta naturaleza prevalece el criterio económico, por lo cual establece $\alpha = 0,7$.

Tabla 6

Valoración de factores

	Factores	LOC 1	LOC 2	LOC 3
<i>Factores críticos</i>	Acuerdo comercial	1	1	1
	Tecnología y servicio	1	1	0
	Mano de obra especializada	1	1	0
Total		1	1	0
<i>Factores objetivos</i>	Impuestos	8.000	2.000	8.100
	Arriendo	22.000	18.000	17.400
	Salarios	14.000	11.000	5.900
Total		44.000	31.000	31.400
<i>Factores subjetivos</i>	Infraestructura (0,4)	0,3	0,2	0,4
	Seguridad política (0,4)	0,3	0,1	0,3
	Estabilidad económica (0,2)	0,1	0,1	0,1
Total		0,7	0,4	0,8

Fuente: elaboración propia.

El total de los factores críticos y subjetivos se presentan como fracción, es decir, se encuentran en el intervalo entre 0 y 1 mientras que el total de los factores objetivos se presenta en unidades monetarias para lo cual se debe cambiar su manera de expresión de la siguiente manera:

$$FO_1 = \frac{1}{44000 \left[\frac{1}{44000} + \frac{1}{31000} + \frac{1}{31400} \right]} = 0,26$$

$$FO_2 = \frac{1}{31000 \left[\frac{1}{44000} + \frac{1}{31000} + \frac{1}{31400} \right]} = 0,37$$

$$FO_3 = \frac{1}{31400 \left[\frac{1}{44000} + \frac{1}{31000} + \frac{1}{31400} \right]} = 0,37$$

El índice de localización para cada una de las ubicaciones candidatas será:

$$IL_1 = (1) [0,7(0,26) + (0,3) (0,7)] = 0,392$$

$$IL_2 = (1) [0,7(0,37) + (0,3) (0,4)] = 0,379$$

$$IL_3 = (0) [0,7(0,37) + (0,3) (0,8)] = 0$$

De manera que se concluye que la mejor ubicación para los criterios establecidos es la ubicación 1.

Ejercicios, talleres y actividades

Lea detenidamente cada uno de los casos y desarrolle las actividades propuestas.

1. Jewelry femme S.A.S, compañía dedicada a la fabricación y exportación de accesorios para mujer de alto costo posee en la actualidad 5 mercados a los cuales hace llegar sus productos en las cantidades demandadas como se muestra en la siguiente tabla:

Condiciones caso Jewelry

Mercado	Ubicación	Costo de transporte	Cantidad
1	París	25	5.200
2	Ámsterdam	23	1.890
3	Fráncfort	20	5.467
4	Viena	19	7.860
5	Roma	14	5.430

Las condiciones de la operación de distribución y las necesidades post venta de los productos exigen cada vez más la ubicación de un centro de distribución en Europa que asegure los niveles de servicio propuestos por la compañía.



Fuente: imágenes totales (2018).

El transporte aéreo requerido para la operación, por la naturaleza del producto y los requerimientos de los clientes, hace considerar la pertinencia de la técnica de centro de gravedad con distancias euclídeas para la localización de la instalación. Establezca la ubicación del centro de distribución y marque su ubicación en el *plano de trabajo* asociado a esta actividad. Adicionalmente, estime el costo total de la operación distribuyendo desde dicha ubicación.

¿Cuál sería la ubicación de la instalación si adicionalmente se considera la apertura de un mercado en Lisboa (Portugal) con demanda de 1550 y un costo asociado de 28?

2. SONIUM, compañía fabricante de electrodomésticos, pretende localizar una instalación dedicada a la distribución de componentes electrónicos para lo cual posee 3 ciudades asiáticas e investiga los costos que pueden afectar su operación en aquellas que desde el punto de vista legal permiten albergar la instalación. Los costos asociados a la localización en cada una de las ciudades candidatas se muestra en la siguiente tabla.

Costos por ubicación

Costos	Ciudad 1	Ciudad 2	Ciudad 3
Amortización inversión directa	\$4.000	\$2.400	\$34.000
Materiales e insumos directos	\$15	\$8	\$6
Impuestos o patentes	\$2.000	\$8.000	\$22.000
Mano de obra indirecta	\$3.456	\$7.456	\$9.666
Gasto indirecto de fabricación	\$7.989	\$9.545	\$5.689
Mano de obra directa	\$23	\$10	\$10
Materia prima directa	\$45	\$18	\$10
Gastos de administración	\$9.000	\$19.000	\$11.000

Sugiera la localización de la planta para diversos volúmenes de producción. Evalúe las funciones y grafique de 500 en 500 hasta 5000.

- Para Maderitos S.A., compañía del sector constructor comprometida con procesos de investigación y desarrollo, resulta prioritario la localización de una instalación que se encargue de acondicionar producto terminado y gestionar la distribución en la región occidental de Europa, para ello identifica 3 posibles ubicaciones (LOC1, LOC2, LOC3) y se opta por la incorporación tanto de criterios cuantificables como aquellos que no lo son para la toma de la decisión.

Resuelva la siguiente situación a través del método sinérgico. Considere un $\alpha=0,6$. La valoración de los criterios considerados se muestran en la siguiente tabla.

Valoración de factores Maderitos S.A

	Factores	LOC 1	LOC 2	LOC 3
<i>Factores críticos</i>	Acuerdo comercial	1	1	1
	Infraestructura multimodal.	1	0	1
	Laboratorios especializados	1	1	1
Total				
<i>Factores objetivos</i>	Arriendo	180.900	321.002	155.799
	Impuestos	177.000	198.000	209.800
	Materias primas	156.890	90.000	180.000
Total				
<i>Factores subjetivos</i>	Oposición comunidad (0,4)	0,3	0,3	0,2

	Seguridad (0,3)	0,3	0,1	0,2
	Red de Apoyo (0,3)	0,1	0,3	0,2
Total				

Referencias

Ballou, R. (2004). *Logística: administración de la cadena de suministro*. (5a. ed.). México: Pearson.

Chopra, S. y Meindl, M. (2013). *Administración de la cadena de suministro, estrategia, planeación y operación*. México: Pearson Prentice Hall, Quinta edición.

Daskin, M. S. (2013). *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications* (2nd Ed.) United States: John Wiley & Sons.

Dong, M. y Chen, F. F. (2007). *Quantitative Robustness Index Design for Supply Chain Networks*, Springer Series in Advanced Manufacturing, (pp. 369-391). Springer.

Ferdows, K. (1997). *Making the most of foreign factories*. *Harvard Business Review*, 75, 73-91.

Jelena V. Vlajic, J. y van der Vorst, R. H. (2012). A framework for designing robust food supply chains. *International Journal of Production Economics*, 137, 176-189.

Johnson, A. R. y Nagarur, N. (2012). A Discussion on Supply Chain Robustness and Resiliency. IIE Annual Conference. *Proceedings*, 1-10.

Lambert, D. M. y Pohlen, T. L. (2001). Supply Chain Metrics. *The International Journal of Logistics Management*, 12(1), 1-19.

Mandal, S., Sarathy, R., Korasiga, V. R., Bhattacharya, S. y Dastidar, S. G. (2016). Achieving supply chain resilience: The contribution of logistics and supply chain capabilities. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 7(5), 544-562.

Monks, J. G. (1997). *Administración de Operaciones*. Ciudad de México: McGraw-Hill.

Mykhaylenko, A., Motika, A., Vejrum Waehrens, B. y Slepnirov, D. (2015). Accessing offshoring advantages: what and how to offshore. *Strategic Outsourcing: An International Journal*, 8(2/3), 262-283.

Pettit T. J. Fiksel, J. y Croxton K. L. Ensuring supply chain resilience: development of a conceptual framework. *Journal of Business Logistics*, 31, 1-23.

Roza, M., Van Den Bosch, F. A. y Volberda, H. W. (2011). Offshoring strategy: Motives, functions, locations, and governance modes of small, medium-sized

and large firms. *International Business Review*, 20 (3), 314-323.
Tawfik, L. y Chauvel, A. M. (1993). *Administración de la producción*. Ciudad de México: McGraw-Hill.

Planificación y gestión de almacenes y centros de distribución

Resumen

La estructuración de sistemas logísticos, como resultado del análisis de los requerimientos del cliente, exige el establecimiento de niveles de servicio con frecuencia difíciles de cumplir en condiciones de incertidumbre. La variabilidad de la demanda, de los tiempos de respuesta de proveedores y de la volatilidad de los precios de algunos recursos, son sólo algunas de las razones que invitan a las compañías a almacenar y operar con centros de distribución. El almacenamiento y los gastos asociados a su gestión no deben ser despreciados por la organización. La proyección de almacenes y centros de distribución, así como su gestión eficiente son, hoy en día, retos para el administrador. En las siguientes páginas se desarrollan los principios para la organización de almacenes y centros de distribución atendiendo criterios de tipo logístico que permitan un flujo ininterrumpido, además de un mínimo consumo energético asociado al movimiento de los materiales. Adicionalmente, se presentan algunas herramientas para la organización y gestión que permitan la ubicación eficaz de materiales en la instalación con las repercusiones positivas desde el punto de vista económico que ello implica. Finalmente, se definen algunas métricas de gran aplicación para medir la gestión de almacenes y centros de distribución.

Palabras clave: almacenes, centros de distribución, *layout*, indicadores de gestión, gestión de almacenes.

Introducción

Las condiciones de distribución actuales y la importancia del servicio y la satisfacción del cliente sugieren, en la actualidad, procesos que aseguren la disponibilidad de producto en el momento justo en el cual se causa su demanda. Tal disponibilidad, en una cadena de suministro, exige el abastecimiento preciso en todas y cada una de las etapas de concepción del producto o servicio, es decir, el abastecimiento sincronizado de cada una de las compañías que integran la cadena de suministro. No obstante, el esfuerzo por parte de los gerentes de cadenas de suministro para asegurar el flujo ininterrumpido de materiales entre las diferentes compañías no es suficiente, la exposición a riesgos de diversa naturaleza en el entorno global es inminente y obligan a mantener existencias que absorban el embate de situaciones que pongan en riesgo la disponibilidad de producto.

El almacenamiento se asocia con frecuencia a un proceso logístico que no agrega valor y que por lo tanto debe ser eliminado; sin embargo, se evidencia su importancia en toda cadena de suministro ya que su función está orientada a garantizar los niveles de servicio establecidos por la organización. La configuración de cadenas de suministro globales, en el contexto actual del comercio internacional, reconoce la importancia del almacenamiento de materiales críticos para el proceso, buscando mitigar el riesgo de agotamiento o especulación en los precios que afecten el rendimiento de la cadena, no obstante, es necesario considerar que el proceso de almacenamiento tiene implícita una serie de costos asociados que deben ser minimizados, lo que significa que el gerente de la cadena de suministro debe concentrarse en la planificación y gestión eficiente de toda unidad dedicada al almacenamiento.

La dinámica de procesos de distribución internacional, y los altos niveles competitivos de las cadenas de suministro contemporáneas, justifican el desarrollo de estrategias que permitan satisfacer al cliente de manera plena y oportuna, por lo tanto, surge el interés de reducir los tiempos de respuesta ante el requerimiento del cliente y la posibilidad de acondicionar los materiales (productos) de acuerdo con las demandas específicas del mercado a abastecer; así, las instalaciones con función de centro de distribución presentan atributos estratégicos para la cadena de suministro actual y exigen no solamente una ubicación estratégica como se expuso en la unidad anterior en función de los mercados, la naturaleza de los

objetos a distribuir y la promesa de servicio, sino que además, deben responder a una gestión operativa eficiente donde el dimensionamiento, los recursos tecnológicos y la gestión de ubicaciones contribuyen al propósito de la instalación en sincronía con la cadena de suministro global.

La temática desarrollada en esta unidad es de gran pertinencia para los encargados de gestionar almacenes y centros de distribución integrados a cadenas de suministro cuyas funciones precisan la absorción de variaciones en la demanda provocadas por un entorno cambiante. La unidad aborda, de manera precisa, las directrices generales para la organización de áreas de almacenamiento y centros de distribución, su proyección y dimensionamiento, selección de equipos de mantenimiento y sistemas de almacenamiento, se enfatiza en los principios generales para la organización de almacenes, la caracterización de materiales y la gestión de ubicaciones para los mismos. Finalmente, se aborda el control del proceso de almacenamiento y las métricas más usadas para este propósito.

La unidad expone una serie de herramientas metodológicas para la planificación de almacenes y centros de distribución bajo principios de eficiencia asociados al mínimo consumo energético en procesos de ubicación de existencias y preparación de pedidos dentro de la instalación, se expone además la metodología para el diseño de métricas que permitan el control de las operaciones y su mejoramiento continuo. La unidad tiene como propósito el desarrollo de habilidades, por parte del estudiante, orientadas a:

- Reconocer las variables que inciden en el dimensionamiento de un almacén o un centro de distribución.
- Aplicar principios para el *Layout*¹ de almacenes y centros de distribución.
- Emplear técnicas para la ubicación de materiales dentro del almacén.
- Establecer métricas para el control de los procesos de almacenamiento y la gestión de centros de distribución.

Se presenta una estructura que permitirá asociar el fundamento teórico con la aplicación práctica de conceptos; para ello, el lector abordará casos y resolverá diferentes ejercicios que se presentan en el apartado final de la unidad. Cabe resaltar que la unidad presenta los fundamentos para la proyección de almacenes y centros de distribución de manera general, aunque la flexibilidad requerida en este tipo de instalaciones por la dinámica de los negocios internacionales invita a considerar las diversas actividades que pueden llevarse a cabo en tales instalaciones (etiquetado, rotulado, Cross-Docking, cuarentenas, etc.) que no

1 Corresponde a la disposición de los elementos dentro del almacén.

son tratadas en detalle en la unidad ya que obedecen a múltiples condiciones de operación que exigen el análisis juicioso de situaciones particulares.

Planificación de almacenes y centros de distribución

La planificación de almacenes y centros de distribución está en función de los volúmenes demandados por la organización y los niveles de servicio establecidos por la misma. Por esta razón, durante el proceso de planificación, la primera fase requiere la estimación de capacidad de la instalación lo cual se realiza a través de la aplicación de técnicas de proyección además de la estimación de la cobertura del stock para de evitar desabastecimiento. La segunda fase exige la selección del sistema de almacenamiento y los equipos de manutención, que debe estar relacionado con la naturaleza de la carga; en esta fase ya estaremos preparados para el dimensionamiento del área de almacenaje. Finalmente, se establecen principios para el dimensionamiento de pasillos y áreas de circulación.

La decisión de invertir en áreas de almacenamiento y centros de distribución corresponde al nivel estratégico; esto quiere decir que tendrá una repercusión a largo plazo por lo cual debe planificarse cuidadosamente. La inversión en equipos de manutención, infraestructura de almacenamiento y obras civiles son solo algunos de los rubros en los que se incurre al decidir emplazar un almacén o centro de distribución. De acuerdo con lo anterior, es fácil inferir que una errónea estimación de los recursos necesarios dará como resultado un exceso de capacidad o por el contrario la capacidad insuficiente de la instalación.

El almacenamiento como proceso logístico

Las condiciones comerciales locales han preocupado siempre a los administradores, no obstante, está claro que las condiciones actuales proponen nuevos retos en términos de estrategias de gestión. La integración de compañías en pro de un beneficio común da origen a estructuras mucho más amplias denominadas hoy en día redes de valor; integración que exige sincronización perfecta a fin de lograr su perfecto funcionamiento.

La logística bajo este contexto se convierte entonces en un factor crítico para el desempeño eficiente de toda organización dado que la naturaleza de sus procesos cambia rápidamente debido a entornos económicos, sociales, culturales y tecnológicos dinámicos. Los procesos de aprovisionamiento superan fronteras geográficas en busca de mejores condiciones asociadas a precio, calidad y valor

agregado entre otros beneficios, los tiempos de transporte son mayores, los procesos de manufactura son cada vez más eficientes por un importante desarrollo tecnológico en el área, las redes de distribución global se ven beneficiadas por figuras contractuales lo que las hace tomar diversas configuraciones; así las cosas, el reto es sincronizar cadenas bajo este contexto respondiendo al cliente de manera oportuna y eficiente.

Los enfoques administrativos que surgen a la luz de la gestión de las cadenas de suministro sugieren su sincronización y configuración a partir de los requerimientos del cliente, no obstante la tarea es compleja si se considera que las condiciones de operación de las compañías en la actualidad se caracterizan por una elevada incertidumbre donde se desconoce con certeza el tiempo de respuesta de los proveedores, los tiempos de transporte de materias primas y sus tiempos en terminales portuarias, entre otras, comprometiendo la eficacia de las decisiones tomadas en torno a la interacción entre las instalaciones que estructuran la cadena y orientadas a la satisfacción del cliente.

Proyección de almacenes y centros de distribución

Los almacenes, como áreas dedicadas a la agrupación y custodia de materiales que esperan ser procesados, transferidos o vendidos, se diseñan en función de los volúmenes que ingresan a la compañía y su velocidad de consumo al interior de esta. La función diferente que tienen los almacenes dentro de la organización hace que las variables a considerar sean diferentes, por ejemplo, cuando se trata de un almacén de materias primas es necesario considerar las políticas de abastecimiento. Por su parte, si se tratara de un almacén de producto terminado sería determinante considerar los niveles de servicio establecidos con los clientes y la frecuencia y política de despacho, aunque los principios para el dimensionamiento y su organización son los mismos.

El centro de distribución, como una facilidad de tipo logístico y con propósitos precisos en términos de asegurar el nivel de servicio propuesto en un sistema de distribución, se caracteriza con frecuencia por almacenar durante cortos periodos de tiempo y la dedicación de espacios para el acondicionamiento de productos, no obstante, los procesos operativos son similares a los de cualquier almacén. La naturaleza de los procesos operativos también condiciona el Layout de una instalación de este tipo y, según Saldarriaga (2017), se pueden caracterizar de la siguiente forma:

- *Recepción.* Proceso que consiste en la verificación de la cantidad que arriba a la instalación frente a la cantidad documental y la inspección física que asegura la calidad de las unidades que ingresan. Existe una tendencia importante a reducir los tiempos de recepción para aumentar velocidad al flujo de productos (recibo ciego, entregas certificadas, entre otras) donde la tecnología toma un papel determinante en el diseño del proceso y, por lo tanto, en el dimensionamiento de áreas para el mismo.
- *Almacenamiento.* Proceso que consiste en el traslado de las mercaderías al área donde reposarán bajo condiciones que garanticen su inalterabilidad para lo cual se considerará la naturaleza de la carga, características de su empaque y condiciones de manipulación y almacenaje que permitan la selección ideal del sistema de almacenamiento e infraestructura y equipos asociados.
- *Picking.* Proceso de extracción desde el área de almacenamiento de las unidades demandadas por el usuario, representa el proceso con mayor consumo energético dentro de la instalación, dado que exige transporte y, por ello, los sistemas de información dedicados al almacenamiento (WMS) se ocupan de la generación de recorridos eficientes dentro del área de almacenamiento para el desarrollo de esta actividad. La cantidad de operadores dedicados a esta actividad, el tipo de equipos y las características de la unidad de carga definirán la dimensión de las áreas de circulación y áreas de preparación de pedidos.
- *Preparación de pedidos.* Proceso de agrupación de mercaderías por orden de despacho y acondicionamiento (empaquetado, etiquetado, entre otras). Las necesidades de espacio se establecerán de acuerdo con las políticas de despacho, el tipo de acondicionamiento y los equipos. Es importante enfatizar que los procesos operativos permiten el dimensionamiento de las áreas básicas del almacén; sin embargo, toda instalación dedicada a almacenar posee una serie de áreas auxiliares que permitirán el funcionamiento eficiente de los procesos (unidades sanitarias, cuarto para cargue de baterías, oficinas de personal administrativo, etc.)

De los pronósticos como primer paso

El análisis de la demanda es fundamental para lograr el acertado dimensionamiento de los almacenes y centros de distribución. Dentro de este proceso la desviación provocada por la técnica de pronóstico (para este caso) y la fluctuación de la demanda como efecto típico de la incertidumbre presentan una incidencia de gran magnitud sobre los costos de operación de los almacenes, tal desviación

tiene como consecuencia el desabastecimiento y la afectación en el nivel de servicio o el exceso de unidades en almacén incurriendo en los costos asociados a su manipulación y custodia.

La fluctuación de la demanda será un componente necesario para establecer las unidades a almacenar como stock de seguridad y realizar, en primer lugar, el cálculo de la desviación estándar de los volúmenes de ventas históricos. Se presenta un ejemplo del análisis propuesto en la siguiente tabla:

Tabla 7

Análisis de datos históricos de demanda

	Real agregado	Proyección	Desviación	%
Enero	204911	262450	-57539	-21,9
Febrero	246357	269520	-23163	-8,6
Marzo	188427	221360	-32933	-14,9
Abril	349074	386203	-37129	-9,6
Mayo	322704	358120	-35416	-9,9
Junio	333642	323800	9842	3,0
Julio	210534	325316	-4782	-1,5
Agosto	333996	323912	10084	3,1
Septiembre	365031	350278	14753	4,2
Octubre	364778	389030	-24252	-6,2
Noviembre	456987	460990	-4003	-0,9
Diciembre	399778	410670	-10892	-2,7
Promedio	323851,583	340137,417	-16285,8333	-4,8
Desvest	77577			
Variabilidad	24,0			

Fuente: adaptada a partir de Saldarriaga (2017).

Para ejemplificar los cálculos, se consideraron los datos históricos de una empresa comercializadora durante el último año. Nótese que la primera fila se denomina “real agregado”, derivado de la suma de la demanda de los productos que almacena la compañía. Por otra parte, es importante destacar que la desviación estándar del conjunto de datos que componen la demanda es de 77.577 lo cual representa una variabilidad de 24%. Una vez realizado este análisis, es necesario establecer la política de días de cobertura del inventario, es decir, el número de días que será capaz de cubrir las unidades en existencia; para el caso tratado vamos a definirlo como 45 días y será este el número de días en los cuales

el inventario se encontrará en almacén. Para Saldarriaga (2017) las necesidades de almacenamiento se definen como:

$$N_a = P_y + US$$

Donde:

P_y = Unidades proyectadas para el periodo siguiente

US = Unidades de Seguridad

Esta última variable (US) tiene como propósito estimar el espacio requerido para el almacenamiento de unidades que cubrirá la variabilidad de la demanda. Su cálculo se logra a través de la siguiente expresión:

$$US = Z * \sigma * \sqrt{T_c}$$

Donde:

Z = Corresponde al número de desviaciones estándar que aseguran el nivel de seguridad requerido.

De esta manera, si el nivel de servicio deseable fuera del 95 %, el valor correspondiente para Z será de 1,65 de acuerdo con las tablas estadísticas (ver figura 6) para la distribución normal:

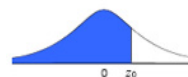
Probabilidad acumulada inferior para distribución normal $N(0, 1)$

μ = Media

σ = Desviación típica

Tipificación:

$$z_0 = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad P(Z \leq z_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z_0} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$



z_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	z_0
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5319	0,5319	0,5359	0,0
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753	0,1
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141	0,2
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517	0,3
0,4	0,6554	0,6591	0,6664	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879	0,4
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224	0,5
0,6	0,7257	0,5438	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549	0,6
0,7	0,7580	0,5832	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852	0,7
0,8	0,7881	0,6217	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133	0,8
0,9	0,8159	0,6591	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389	0,9
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621	1,0
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830	1,1
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015	1,2
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177	1,3
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319	1,4
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441	1,5
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545	1,6
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633	1,7
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706	1,8
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767	1,9
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817	2,0
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857	2,1
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890	2,2
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916	2,3
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936	2,4
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952	2,5
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964	2,6
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974	2,7
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981	2,8
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9985	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986	2,9
3,0	0,99865	0,99869	0,99874	0,99878	0,99882	0,99886	0,99889	0,99893	0,99896	0,99900	3,0
3,1	0,99903	0,99906	0,99910	0,99913	0,99916	0,99918	0,99921	0,99924	0,99926	0,99929	3,1
3,2	0,99931	0,99934	0,99936	0,99938	0,99940	0,99942	0,99944	0,99946	0,99948	0,99950	3,2
3,3	0,99952	0,99953	0,99955	0,99957	0,99958	0,99960	0,99961	0,99962	0,99964	0,99965	3,3
3,4	0,99966	0,99968	0,99969	0,99970	0,99971	0,99972	0,99973	0,99974	0,99975	0,99976	3,4
3,5	0,99977	0,99978	0,99978	0,99979	0,99980	0,99981	0,99981	0,99982	0,99983	0,99983	3,5
3,6	0,99984	0,99985	0,99985	0,99986	0,99986	0,99987	0,99987	0,99988	0,99988	0,99989	3,6
3,7	0,99989	0,99990	0,99990	0,99990	0,99991	0,99991	0,99992	0,99992	0,99992	0,99992	3,7
3,8	0,99993	0,99993	0,99993	0,99994	0,99994	0,99994	0,99994	0,99995	0,99995	0,99995	3,8
3,9	0,99995	0,99995	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99997	0,99997	3,9

1 - α	90%	92%	94%	95%	96%	97%	98%	99%
α	10%	8%	6%	5%	4%	3%	2%	1%
$Z_{\alpha/2}$	1,645	1,751	1,881	1,960	2,054	2,170	2,326	2,576
Z_{α}	1,282	1,405	1,555	1,645	1,751	1,881	2,054	2,326

Siendo:
 1- α = Nivel de confianza
 α = Nivel de significación

Figura 6. Tabla de distribución normal. Vaxa Software (2018).

σ = Corresponde a la desviación estándar de la demanda en el periodo analizado.
 Tc= Corresponde al tiempo de cobertura del inventario, expresado en las mismas unidades de tiempo que Py.

Siguiendo con el ejemplo, suponga que:

Py= 350.600 Unidades demanda proyectada para el siguiente mes.

$$Z=1,65$$

$$\sigma= 77.577$$

Tc= 45 días; dado que Py se encuentra en meses Tc será igual a 1,5. De esta manera las unidades de seguridad serán $1,65*77.577*\sqrt{1,5}=156.162$ unidades.

A partir de esto la necesidad de almacenamiento para el periodo siguiente será de:

$$Na= 350.600 + 156.162 =506.762 \text{ unidades}$$

Será esta la cantidad de unidades que debe soportar el sistema de almacenamiento en cualquier instante.

Tecnologías de almacenamiento

Los requerimientos de área estarán en función de la tecnología de almacenamiento seleccionado, la cual comprende dos aspectos fundamentales:

1. Método de almacenamiento-selectividad y accesibilidad.
2. Necesidades de área y equipos de manutención.

Método de almacenamiento-selectividad y accesibilidad

Masivo. Al menos una unidad de carga bloqueada.

Selectivo. Acceso directo a todas las unidades de carga sean estas unitarizadas o fraccionadas.

Muy selectivo. Acceso directo a todas las referencias que componen el surtido. Muchas referencias, pocas cantidades, pequeña dimensión. Para Gutiérrez (2012), los medios técnicos y el método de almacenamiento se relacionan como se muestra en la tabla 8:

Tabla 8

Medios técnicos de almacenamiento

Método de almacenamiento	Medio técnico
Muy selectivo	Estantería para cargas fraccionadas Gaveteros Ganchos
Selectivo	Racks selectivos de profundidad sencilla Apilado "Arrume negro" a una sola fila
Masivo	Drive In / Drive through Pallet Flow Arrume negro a más de una fila

Fuente: Gutiérrez Pradere (2002).

El método de almacenamiento sugiere entonces la posibilidad de acceder a las referencias de la siguiente manera: si se considera un pallet completo con 48 cajas de cartón en el que cada una contiene 24 muñecos de porcelana de una misma referencia, el método muy selectivo permitiría el acceso a cada una de las unidades de producto. Por su parte, el método de almacenamiento selectivo permitiría el acceso a cada uno de los pallets y, por último, el método de almacenamiento masivo solo permitiría el acceso a algunos de estos.

Para Gutiérrez Pradere (2002), los factores que inciden en la selección del método de almacenamiento son:

- La relación volumen / surtido o masividad.
- La altura o puntal de la bodega.
- El área total de la bodega.
- El peso de las unidades de carga y de los artículos.
- Las dimensiones de las unidades de carga y de los artículos.

Donde la relación volumen surtido se define de la siguiente manera:

$$\text{Relación volumen/surtido} = \frac{\text{Demanda neta de artículos en metros cúbicos/}}{\text{Cantidad de referencias que integran el surtido.}}$$

Y los parámetros para su aplicación se muestran en la tabla 9:

Tabla 9

Parámetros de evaluación de tecnologías de almacenamiento

V/S (m3)	Altura H Disponible (m)	Área A Disponible (m2)	Peso unidad de carga (kg)	Tecnología de almacenamiento
$v/S < 0,25$	Cualquier altura	Cualquier área	Cualquier peso	Muy selectivo
$0,25 \leq V/S \leq 7$	$H \leq 4,8$	$A \leq 300$	$P > 20$	Masivo
			$P \leq 20$	Muy selectivo
	$H > 4,8$	$A > 300$	Cualquier peso	Selectivo
			Cualquier peso	Selectivo
$V/S > 7$	Cualquier altura		Cualquier peso	Masivo

Fuente: Gutiérrez Pradere (2002).

Ejemplo:

El objetivo es seleccionar el método de almacenamiento donde la altura de la bodega es de 4,5 mts y su área de 125 m²; las referencias almacenadas y su demanda, así como el volumen, se muestran en la tabla 10:

Tabla 10

Ejemplo datos de entrada para cálculo de relación volumen surtido

Referencia	Demanda	Volumen/unidad (m3)	Volumen Total (m3)	Peso (kg) Unidad de carga
1	25.000	1	25.000	12
2	1.200	0,5	600	10
3	1.850	0,2	370	13
4	1.320	0,4	148	12
5	18.000	0,7	12600	10
6	17.400	0,3	5.220	8
TOTAL	64.770		43.938	

Fuente: elaboración propia.

Relación $V/S = 43938/64770 = 0,67$ valor que a partir de la tabla de referencia sugiere la selección de tecnología de almacenamiento muy selectiva, donde de acuerdo con características de la carga puede ser apropiado el uso de estanterías para carga fraccionada.

Necesidades de área y equipos de mantenimiento

La selección de los medios de transporte al interior del almacén o centro de distribución obedecen a la tecnología de almacenamiento seleccionada, el peso y dimensiones de la carga; de esta manera, por ejemplo, la altura de los racks y su naturaleza exigirán el uso de elevadores de horquillas y, a partir de ello, será posible el dimensionamiento de pasillos, áreas de maniobra, las distancias de seguridad al medio de transporte, las cargas que se imponen a la estructura, etc. El ancho de los pasillos y corredores depende del tipo de uso, la frecuencia del uso y la velocidad permitida de los vehículos que transcurran por él. Una buena distribución de pasillos, según Casals et. al. (2012), se basa en:

- Pasillos rectos: disponer los mínimos ángulos posibles y evitar esquinas ciegas.
- Ubicar los pasillos para lograr distancias y recorridos mínimos.
- Marcar los límites de los pasillos.
- Disponer pasillos de doble acceso lateral: los pasillos situados a lo largo de una pared desnuda, o contra la espalda de una zona de almacenaje, sólo ofrecen la mitad de su utilidad potencial.
- Diseñar las intersecciones a 90°: los pasillos con ángulo distinto del recto causan una enorme pérdida de superficie de suelo.
- Hacer que los pasillos tengan una longitud económica: los pasillos demasiado cortos ocasionan un derroche de espacio; si son demasiado largos, favorecen los retrocesos y movimientos transversales.
- Hacer que los pasillos tengan la anchura apropiada: la anchura de un pasillo depende de su uso (material, personal, aparatos de manipulación y transporte, maquinaria y otros elementos), su frecuencia de utilización, la velocidad de paso permitida o deseada y la ordenación del tráfico (en uno o en los dos sentidos).

De acuerdo con lo anterior, se pueden plantear dos trazadas genéricas:

- Longitudinal: pocos pasillos, pero muy largos, adaptados para movimientos con carretilla, y adecuados para almacenes con entradas y salidas por pallets.
- Transversal: muchos pasillos, pero cortos, adaptados para desplazamiento a pie, adecuados para almacenes con entrada y salida por cajas.

Para Saldarriaga (2017) existen algunas consideraciones necesarias para tener en cuenta en el diseño de un almacén o centro de distribución:

- No se sugiere la delimitación del *Layout* con pintura en el piso, en la medida en que la magnitud de las operaciones se incrementa será necesario cambiar el *Layout*, lo que implica pintar nuevamente y, con el tiempo, se percibirá un conjunto de líneas que confundirán al operario.
- Se sugiere no utilizar protectores en la base de las estanterías. Su instalación exige la perforación de las losas del piso para su anclaje además de generar un ambiente de excesiva confianza hacia los montacarguistas. La mejor decisión al respecto es la capacitación para evitar el contacto de las maquinas con la estantería.
- Es conveniente la ubicación de tomas de agua especialmente en la zona de *picking* y otras que se caractericen por la demanda de esfuerzo y fatiga excesiva.
- Es importante evitar la ubicación de baños dentro del almacén, suelen utilizarse para fumar o consumir productos almacenados; resulta más efectiva su ubicación en el exterior previo diseño de procesos de control al ingreso y salida.
- Los climas templados requieren con frecuencia sistemas para la recirculación del aire y se asocian a incrementos importantes a la productividad del personal.

Administración de almacenes y centros de distribución

La administración de almacenes, como conjunto de actividades que buscan el óptimo desarrollo de las operaciones básicas del almacén, sugieren el máximo aprovechamiento del espacio disponible, minimización de transporte interno y manipulación de productos. La plena rotación de unidades dentro del almacén, minimizando la merma, provocada por obsolescencia, daño o hurto, entre otras, a fin de lograr una importante reducción de costos de operación de la unidad logística. En este contexto, se desarrolla inicialmente la caracterización de los materiales y posteriormente se describirán los principios de organización del almacén para la eficiente operación.

De la caracterización de los productos

Las decisiones de tipo organizativo dentro del área de almacenamiento resultan de un contraste entre las capacidades de la instalación, recursos tecnológicos

disponibles y las necesidades operativas asociadas a la naturaleza de los productos por almacenar; por esta razón lo primero que debe hacerse al planear la organización del almacén es el reconocimiento de las características de los productos a almacenar, así como las condiciones especiales que demanda su manipulación.

Las características físicas como el volumen y peso del producto, así como de los medios unitarizadores (estibas), la unidad estándar de manipulación (canastillas, *Pallets*, etc.), límites de apilamiento y resistencia, identificación y condiciones especiales de almacenamiento y manipulación (cargas refrigeradas, peligrosas, etc.) son determinantes al momento de establecer su ubicación espacial dentro del almacén, así como su frecuencia de salida.

Por otra parte, resulta importante identificar sus características de caducidad y obsolescencia, a partir de ello es posible establecer principios de priorización de salida de materiales o mercancías del almacén dentro de los cuales se encuentran:

- *First in – First out* (FIFO) / *First Expired – First out* (FEFO): criterio de priorización de salida de productos que consiste en seleccionar primero los que caduquen antes (*First Expired*, *First Out*) y, a igualdad de caducidad, los más antiguos (*First in*, *First Out*), asegurando de esta manera la mínima permanencia de productos en el almacén; es un criterio de gran utilización en productos alimenticios frescos y medicamentos.
- *Last in-First Out* (LIFO): criterio de priorización de salida de productos que consiste en seleccionar primero los últimos que ingresaron al almacén; favorecen los sistemas de almacenamiento por acumulación. Sin embargo, la selección de los criterios de priorización obedece no solamente a la caducidad del material almacenado, sino que considera otros factores como los sistemas informáticos que apoyan la gestión de ubicaciones y la tecnología de almacenamiento disponible.

Sistemas de posicionamiento y localización de mercancías

El proceso de almacenamiento consiste en la asignación de una posición a la mercancía recibida durante un periodo de tiempo corto. La posición asignada debe asegurar la operación eficiente de *picking* y traslado hacia el área de despacho o área requerida según el caso, así como mantener las condiciones de calidad que requiere. Existen dos tipos de posicionamiento de mercancías:

- *Almacenamiento por posición fija*: considera la ubicación de cada una de las referencias en una posición única cada vez, quiere decir, que, ante

la ausencia del material, su posición permanecerá vacía lo cual supone una pérdida importante de espacio; por otra parte, presenta la ventaja de mantener siempre el espacio disponible para cada una de las referencias por almacenar y permitir de manera permanente su control visual.

- *Almacenamiento caótico o aleatorio*: considera la ubicación de cada una de las referencias en la posición que se encuentre disponible al momento de su llegada y que mantenga las condiciones de calidad que requiere cada material. La principal desventaja que presenta su aplicación es que requiere el apoyo de tecnologías de información que aseguren su eficacia.

La asignación de ubicaciones dentro del almacén obedece a diversos objetivos difíciles de alcanzar en conjunto, es decir, se busca de manera permanente la reducción de transporte interno de materiales y manipulación, el máximo aprovechamiento del espacio, garantizar la seguridad en las operaciones, reducir la merma (hurto, deterioro, etc.), facilitar la localización y el control de productos. La actividad operativa de los centros de distribución obedece a la coordinación entre la función comercial de la compañía y la función logística, esto implica su orientación marcada hacia la distribución donde son significativamente mayores las salidas que las entradas y donde prevalece el propósito de facilitar la preparación de pedidos y el servicio al cliente.

La velocidad en las operaciones de despacho y la precisión en las mismas es requerimiento fundamental en la actividad comercial actual y, de acuerdo con la dinámica operativa de los centros de distribución, el principio de ubicación por popularidad se constituye como una herramienta de gran importancia para el administrador de la operación de almacenamiento.

El principio de popularidad considera que una pequeña cantidad de referencias concentran el mayor volumen de manipulación en la instalación y serán estos quienes deben tener una ubicación privilegiada con respecto al área de preparación de pedidos con la máxima facilidad de acceso y *picking* a fin de reducir los recorridos dentro del almacén y, con ello, la reducción del consumo energético en desplazamiento. El principio de popularidad es una aplicación de la ley de Pareto al proceso logístico de almacenamiento donde se estima que el 10 % de las referencias almacenadas representa el 70 % del volumen de manipulación del almacén y que serán categorizados como tipo “A”, el 20 % de las referencias almacenadas representa el 20 % del volumen total de manipulación y serán categorizados como tipo “B” y el 70 % de las referencias almacenadas concentra el 10 % del volumen de manipulación que serán categorizados como tipo “C”.

El volumen de manipulación para la aplicación de la técnica resulta de la consideración de dos variables, a saber:

- *Demanda anual de la referencia almacenada.* Las cantidades despachadas por unidad de tiempo se consideran un indicador inicial de la popularidad de la referencia, no obstante, es importante destacar que como indicador no es suficiente. Las veces que la referencia es solicitada también debe ser considerada, de esta manera la siguiente variable será la frecuencia de Picking.
- *Frecuencia de Picking.* Las veces que la referencia aparece en las listas de preparación (Picklist) por unidad de tiempo indican las veces que el operador debe desplazarse hasta la ubicación a realizar la extracción de las unidades requeridas para su posterior traslado hacia el área de despacho.

Ejemplo:

Suponga que la empresa CHOCO-LATE posee en su portafolio de productos 15 referencias diferentes, que quiere ubicar en almacén de manera que se reduzcan significativamente los flujos de transporte al interior del mismo. La información suministrada se muestra en la tabla 11 y corresponde al reporte de ventas del año anterior:

Tabla 11

Ejemplo datos de entrada para localización por popularidad

Referencia	Unidades/año	Frecuencia de picking
choc1	26.500.000	12
choc2	12.400.000	8
choc3	18.200.000	6
choc4	9.600.000	8
choc5	689.000	23
choc6	6.320.000	25
choc7	8.200.000	25
choc8	490.000	15
choc9	950.000	7
choc10	3.800.000	11
choc11	2.400.000	10
choc12	8.600.000	5

choc13	1.200.000	20
choc14	1.250.000	12
choc15	1.400.0000	12

Fuente: elaboración propia.

El análisis inicial de los datos comienza con la ponderación del volumen de manipulación y la frecuencia de *picking* que se logra multiplicando ambas magnitudes para generar una variable a la que se denominará volumen de manipulación y será, a partir de esta, que se organizará de mayor a menor el conjunto de referencias.

El análisis propuesto se muestra en la tabla 12:

Tabla 12

Categorización de materiales por popularidad

Referencia	Unidades/año	Frecuencia de picking	Volumen de manipulación	%	% Acumulado	Tipo de producto
choc1	26500000	12	318000000	24,240632	24,240632	A
choc7	8200000	25	205000000	15,626822	39,867454	A
choc15	14000000	12	168000000	12,806371	52,673826	A
choc6	6320000	25	158000000	12,044087	64,717913	A
choc3	18200000	6	109200000	8,3241415	73,042054	A
choc2	12400000	8	99200000	7,5618574	80,603912	B
choc4	9600000	8	76800000	5,8543412	86,458253	B
choc12	8600000	5	43000000	3,2778213	89,736074	B
choc10	3800000	11	41800000	3,1863472	92,922422	C
choc11	2400000	10	24000000	1,8294816	94,751903	C
choc13	1200000	20	24000000	1,8294816	96,581385	C
choc5	689000	23	15847000	1,2079915	97,789376	C
choc14	1250000	12	15000000	1,143426	98,932802	C
choc8	490000	15	7350000	0,5602788	99,493081	C
choc9	950000	7	6650000	0,5069189	100	C
			1.311.847.000	100		

Fuente: elaboración propia.

Note que, al calcular la participación de cada una de las referencias con respecto al volumen de manipulación total y luego su acumulado, es posible ver que el 62,06% del volumen de manipulación total está concentrado en las referencias choc1, choc3, choc15, choc2, choc4, choc12 lo cual los categoriza

como productos tipo A y deben tener una posición cercana al área de despacho de la manera como se muestra en la figura 7.

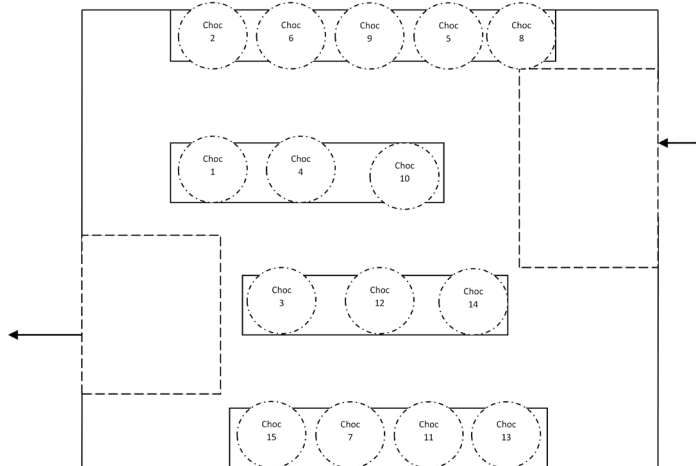


Figura 7. Planimetría y ubicaciones. Elaboración propia.

Control de almacenes y centros de distribución

El desarrollo de los procesos logísticos en almacenes y centros de distribución exige un estricto control específicamente por dos motivos; el primero obedece al *gap* natural que existe entre los objetivos propuestos tras extensos y dedicados procesos de planeación y lo que realmente ocurre al momento de ejecutar. La diferencia entre lo planeado y lo ocurrido debe ser medido de manera que se puedan identificar las causas por las cuales no se logra el objetivo propuesto y se tomen decisiones al respecto. La segunda razón resulta de considerar la importante cantidad de recursos que consumen las operaciones en un almacén o centro de distribución: mano de obra, equipos de mantenimiento y transporte, equipos de acondicionamiento de mercancías y telecomunicaciones entre otras, y cuya rentabilidad sólo se percibe a través de la medición. Tales razones, entre otras, justifican los esfuerzos permanentes por parte de la administración al desarrollo de herramientas de gestión que permitan realizar un preciso y eficaz proceso de medición.

Los indicadores de gestión como instrumento de medición parten de la premisa de que el control surge de hechos y datos, lo cual quiere decir que todo proceso debe ser medible y por lo tanto controlable, de lo contrario debe considerarse su eliminación. El carácter numérico de un indicador de gestión exige de esta

manera la relación entre dos o más variables asociadas a factores críticos de un proceso o actividad. La toma de decisiones a partir de los resultados arrojados por los indicadores de gestión resultará eficaz si su diseño responde a una serie de características que, según Anaya (2000), debe percibirse en cualquier métrica; definidas así:

- *Definición inequívoca y aceptabilidad.* Su definición debe gozar de claridad, de manera que se evite confusión alguna en su aplicación, debe mostrar su alineación con los objetivos estratégicos de la compañía y debe ser aceptado por los responsables del proceso.
- *Modo de expresión.* El indicador de gestión como porcentaje facilita su interpretación y la comparación con otros indicadores similares.
- *Nivel de agregación.* Los indicadores de gestión deben estar asociados a un grupo de productos, o a un proceso común para todos ellos de manera que se facilite su aplicación. Es importante además tener en cuenta que el éxito en los procesos de control radica en el análisis de un número reducido de indicadores bien definidos y no un gran número que haga traumático su análisis.
- *Simplicidad operativa.* La facilidad de cálculo e interpretación está directamente asociada al costo de su aplicación de manera que este se reduce de manera significativa cuando se logra simplicidad en su modo de cálculo.
- *Factibilidad.* La definición de indicadores de gestión debe obedecer al análisis juicioso del proceso que se pretende medir de manera que los objetivos sean alcanzables, de lo contrario se percibirán efectos negativos sobre la fuerza de trabajo.
- *Presentación.* El indicador de gestión debe poseer un carácter comunicativo, su análisis y toma de decisiones a partir del resultado será labor de un equipo de trabajo; por ello debe presentarse en forma de gráfico comparativo donde se pueda ver la evolución o comportamiento del proceso en función del tiempo.

Para Saldarriaga (2017), los indicadores de gestión logística pueden agruparse de acuerdo con su área de actuación y propósito; por una parte se definen indicadores de tipo financiero que usualmente persiguen mostrar el consumo de recursos económicos por actividad, los indicadores de tiempo miden el tiempo que consume el desarrollo de una actividad logística, los indicadores de productividad, por su parte, miden la eficiencia en las operaciones y con frecuencia contrastan unidades procesadas (o movidas) por unidad de tiempo, los indicadores de calidad miden la efectividad de las operaciones, los indicadores ambientales miden

la contaminación asociada a un proceso u operación en función del tiempo y, finalmente, los indicadores de seguridad miden la materialización de los riesgos.

Indicadores de gestión usados en almacenes y centros de distribución

El proceso de almacenamiento en una organización obedece a diversas razones de carácter operativo, sin embargo, es común asociarlo a la necesidad de asegurar el nivel de servicio exigido por el cliente lo cual requiere para todos los casos un consumo importante de recursos y por ello se hace imperativo su control. La intervención de procesos, como actividad principal dentro de las actividades de control, a menudo resulta del seguimiento continuo de su desempeño y procura la mejor utilización de los recursos consumidos en su desarrollo. Para Mora (2008), los indicadores usados en almacenes y centros de distribución más utilizados se muestran en la tabla 13.

Tabla 13

Indicadores de gestión más usados en procesos de almacenamiento

Indicador	Descripción	Fórmula	Impacto
Costo de almacenamiento por unidad	Consiste en relacionar el costo del almacenamiento y el número de unidades almacenadas en un periodo determinado	$\frac{\text{Costo de almacenamiento}}{\text{Número de unidades almacenadas}}$	Sirve para comparar el costo por unidad almacenada y así decidir si es más rentable subcontratar el servicio de almacenamiento o tenerlo propiamente
Costo por unidad despachada	Porcentaje de manejo por unidad sobre los gastos operativos del centro de distribución	$\frac{\text{Costo Total Operativo Bodega}}{\text{Unidades Despachadas}}$	Sirve para costear y controlar el porcentaje de los gastos operativos de la bodega con respecto a las unidades despachadas
Unidades separadas o despachadas por empleados	Consiste en conocer el número de unidades despachadas por cada empleado del total despachado	$\frac{\text{Total de unidades preparadas y despachadas}}{\text{Número de empleados destinados a preparación}}$	Sirve para comparar la productividad de cada empleado, con los estándares establecidos para la operación

Costo de despacho por empleados	Consiste en conocer el costo con el que participa cada empleado dentro del costo total de la actividad de despachos	$\frac{\text{Costo operativo de la Bodega.}}{\text{Número de empleados de la bodega}}$	Sirve para establecer el costo asociado a cada empleado con relación a los costos operativos de la empresa
Nivel de cumplimiento del despacho	Consiste en conocer el nivel de efectividad de los despachos de mercancías a los clientes en cuanto a los pedidos enviados en un período determinado	$\frac{\text{Número de despachos cumplidos} \times 100}{\text{Número total de despachos requeridos}}$	Sirve para medir el nivel de cumplimiento de los pedidos solicitados al centro de distribución y conocer el nivel de agotados que maneja la bodega
Costo por metro cuadrado	Consiste en conocer el valor de mantener un	$\frac{\text{Costo Total Operativo Bodega}}{\text{Área de almacenamiento (m}^2\text{)}}$	Sirve para costear el valor unitario de metro cuadrado y así poder negociar valores de arrendamiento y comparar con otras cifras de bodegas similares

Fuente: elaboración propia a partir de Mora (2008).

Ejercicios, talleres y actividades

1. Asocie los términos de la columna izquierda identificados todos ellos a través de numerales con la respectiva definición que encontrará en la columna de la derecha identificados con literales.

1.	Almacenes.	a.	Proceso que consiste en la verificación de la cantidad que arriba a la instalación con la cantidad documental, además de la inspección física
2.	Recepción	b.	Proceso que consiste en el traslado de las mercaderías al área donde reposarán bajo condiciones que garanticen su inalterabilidad
3.	Picking	c.	Proceso de agrupación de mercaderías por orden de despacho y acondicionamiento (empaquetado, etiquetado, entre otras)
4.	Preparación de pedidos	d.	Áreas dedicadas a la agrupación y custodia de materiales que esperan ser procesados, transferidos o vendidos
5.	Almacenamiento	e.	Proceso de extracción desde el área de almacenamiento de las unidades demandadas por el usuario

2. Estime la necesidad de almacenamiento para un sistema que presenta el comportamiento de demanda como se muestra en la tabla siguiente:

	Real Agregado	Proyección
Enero	2,800	4,059
Febrero	3,004	3,854
Marzo	3,124	3,190
Abril	2,847	3,651
Mayo	3,330	3,950
Junio	3,598	3,286
Julio	3,385	2,989
Agosto	3,495	3,538
Septiembre	3,338	3,459
Octubre	3,043	3,808
Noviembre	3,865	3,834
Diciembre	3,676	4,063

Fuente: elaboración propia.

Además, considere una política de cobertura de inventarios de 30 días y un nivel de servicio del 90%.

3. Seleccione el sistema de almacenamiento más adecuado de acuerdo con las condiciones descritas a continuación:

Área de almacenamiento efectiva de 15 metros X 17 metros, entrada y salida por costados opuestos sobre el lado de 15 metros y 4, 3 metros de altura aprovechable. La información relacionada con la familia de productos se relaciona a continuación:

Producto	Unidades	Dimensiones de la unidad de manipulación en metros (largo * ancho * alto)	Peso de la unidad de manipulación (kg)
P1	1.230	1* 1,2 * 1,5	230
P2	1.825	1* 1,2 * 1,8	200
P3	1.972	1* 1,2 * 1,8	230
P4	1.325	1* 1,2 * 1,7	250
P5	1.421	1* 1,2 * 1,6	230
P6	1.528	1* 1,2 * 1,7	200
P7	1.890	1* 1,2 * 1,5	200

Fuente: elaboración propia.

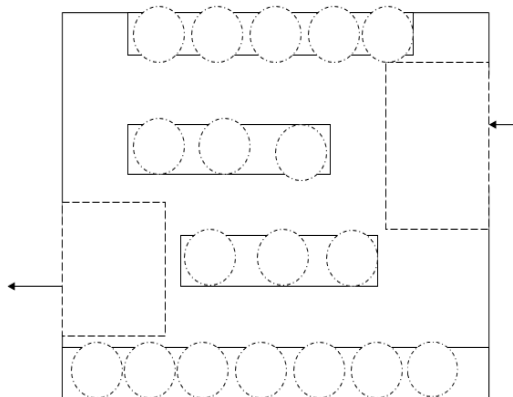
- Qué medios técnicos de almacenamiento sugiere usted si tenemos en cuenta que el producto almacenado son pastas alimenticias, y se requiere el mayor aprovechamiento del área de almacenamiento.
4. La empresa CARDUMEN S.A. posee en su portafolio de productos 18 referencias diferentes que quiere ubicar en almacén de manera que se reduzcan significativamente los flujos de transporte al interior del almacén. El jefe de almacén sugiere la ubicación de las mercancías de acuerdo con el volumen de manipulación que generan cada una de estas de manera que propone una clasificación 80/20 (pareto) para los productos ofrecidos, el objetivo de dicha clasificación es asignar áreas de almacenamiento cercanas al área de despacho y/o recepción para los productos que mayor frecuencia de preparación y demanda anual presenten ya que de ellos se derivan consecuencias económicas mayores debido al alto consumo de recursos que acarrea su manipulación.

Referencia	Unidades/año	Frecuencia de picking
ATUN1	26.500.020	12
ATUN2	12.600.000	8
ATUN3	1.820.000	7
ATUN4	9.600.500	8
ATUN5	689.100	23
ATUN6	6.320.800	25
ATUN7	8.300.000	25
ATUN8	490.050	15
ATUN9	950.000	9
ATUN10	380.000	11
ATUN11	2.406.000	10
ATUN12	8.640.000	5
ATUN13	1.200.000	17
ATUN14	1.250.000	15
ATUN15	14.000.000	13
ATUN16	3.678.000	21
ATUN17	952.000	36
ATUN18	4.725.000	10

Fuente: elaboración propia.

Identifique las referencias que representan el mayor volumen de manipulación dentro del almacén.

Considere el área de almacenamiento como sigue:



Fuente: elaboración propia.

Asigne áreas de almacenamiento considerando estanterías y productos de iguales características. (Justifique dicha ubicación).

5. Analice detenidamente la formulación de los indicadores de gestión con signados en la siguiente tabla y complete las celdas vacías.

Indicador	Descripción	Fórmula	Impacto
		$\frac{\text{Costo real del equipo}}{\text{Costo presupuestado}}$	
		$\frac{\text{Costo Total Real de la Bodega}}{\text{Costo presupuestado de la bodega}}$	
		$\frac{\text{Perdidas reales por unidad de tiempo}}{\text{Perdidas estándar por unidad de tiempo}}$	
		$\frac{\text{Costo real de la unidad manipulada.}}{\text{Costo presupuestado por unidad manipulada}}$	
		$\frac{\text{Peso manipulado en la recepción y despacho}}{\text{Horas de trabajo}}$	
		$\frac{\text{Pedidos servidos}}{\text{Horas de trabajo}}$	

Fuente: elaboración propia.

Referencias

- Anaya, J. (2011). *Logística integral: la gestión operativa de la empresa* (4a ed.). Madrid: Esic Editorial.
- Casals, M., Forcada, N. y Roca, X. (2012). *Diseño de complejos industriales: fundamentos*. Barcelona: Editorial Universidad Politécnica de Catalunya.
- Gutiérrez Pradere, A. (2002). *Gestión de Almacenes*. La Habana: Logespro.
- Mauleón, M. (2013). *Sistemas de almacenaje y Picking*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Mora García, L. A. (2008). *Indicadores de la gestión logística*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Saldarriaga, D. (2017). *Diseño, optimización, y gerencia de centros de distribución*. Bogotá: Zonalogistica Editorial.

Unidad 3

Gestión de los inventarios

Resumen

La turbulencia de los mercados globales y la férrea competencia de las cadenas de suministro contemporáneas ha dado origen al desarrollo de estrategias empresariales orientadas a soportar embates de diferente índole que puedan afectar de manera drástica su operatividad y capacidad de satisfacer oportunamente al cliente. Los inventarios adquieren una importancia medular para el conjunto de estrategias con ese propósito y sus costos inherentes desafían a los administradores de cadenas de suministro pues deben encontrar el balance óptimo entre el beneficio generado por el mantenimiento de inventarios y su costo asociado, la definición de políticas de inventario resulta entonces objeto de análisis en los procesos de gestión. En las siguientes páginas se desarrollan los principios para la gestión de inventarios, para ello se establecen criterios para la categorización de materiales e insumos y se presenta la estructura de costos característica de los inventarios a fin de tener criterios de eficiencia para la definición de políticas de inventarios y se presentan algunas estrategias para reducir los costos de inventarios en las cadenas de suministro. Finalmente se expone la planeación de requerimiento de materiales como herramienta eficaz para la planificación del abastecimiento en cadenas de suministro global.

Palabras clave: inventarios, stock, políticas de inventario.

Introducción

Las unidades existentes en un almacén no siempre responden a necesidades de la compañía, a cálculos precisos relacionados con la demanda y/o compromisos con los clientes, sino que por otra parte son el resultado de fracturas en el intercambio de información entre los actores que intervienen en el flujo de materiales dentro de la compañía, objetivos logísticos funcionales no unificados o sencillamente condiciones de despacho inflexibles por parte de proveedores tanto internos como externos, entre muchas otras razones.

El entorno operativo de las compañías actuales es complejo, la integración de cadenas de suministro supone dar respuesta de manera eficiente a las necesidades de los clientes, la competitividad exigida por el mercado requiere la reducción de costos en todo proceso y la eliminación de aquellos que no agregan valor, este contexto destaca la importancia de la alineación de objetivos de la cadena de suministro de manera que se logre la sincronización efectiva de todo proceso dentro de la cadena en función de un único propósito, la alineación de objetivos estratégicos dentro de la cadena de suministro implica el compromiso de todas las áreas funcionales de las organizaciones a operar en función de objetivos únicos lo cual se logra estableciendo un sistema de evaluación del desempeño coherente a través de métricas con enfoque sistémico y no por área.

Con frecuencia la definición de objetivos por área funcional desalineados de los objetivos de la compañía y la cadena de suministro evitan el máximo aprovechamiento de los esfuerzos de las organizaciones por optimizar el uso de recursos, un ejemplo típico se evidencia en el proceso de abastecimiento en un gran número de compañías, donde se refleja el conflicto generado en la operación cuando se encuentra personal de compras buscando el mejor precio en las actividades de negociación atendiendo de manera juiciosa a los objetivos del área de compras y a la cual se le mide en función del precio negociado, desafortunadamente ese mejor precio con frecuencia se logra comprando grandes cantidades de producto que necesariamente provocará una afectación directa a las métricas que miden el desempeño de los almacenes, pues claramente terminarán albergando más producto del planeado; en pocas palabras, el éxito del área de compras se logra a través del bajo desempeño del área de almacenamiento.

La globalización y el aprovechamiento de economías de escala tanto en manufactura como en transporte y demás procesos que caracterizan el mercado global

sugieren la necesidad de planificar las cantidades, a aprovisionar y almacenar, y su frecuencia de manera que compense el ahorro en el costo mencionado con el costo de inventarios sin olvidar la flexibilidad y niveles de servicio propuestos por la compañía. Para Mathur (1996) la gestión de inventarios busca establecer ¿Qué comprar o producir?, ¿Cuánto comprar o producir? y ¿Cuándo comprar o producir? Teniendo en cuenta la necesidad de reducir costos de almacenamiento, reducir costos por obsolescencia, reducir el ciclo de pedido y reducir porcentajes de mermas por mal manejo y/o manipulación.

Las respuestas a las preguntas formuladas resultan inicialmente de caracterizar el tipo de inventario generado en la operación y su propósito dentro de la cadena, así, por ejemplo, las políticas definidas para un inventario de materia prima serán diferentes que aquellas para inventario de producto terminado, pues el valor agregado será un criterio importante para tomar decisiones. De igual manera algunos inventarios surgen de situaciones específicas del negocio y deben ser gestionados en función de tal condición, puede ser el caso por ejemplo de inventarios especulativos, los cuales surgen en las compañías para evitar la afectación provocada por la variabilidad del recurso en función del tiempo.

Por otra parte, la gestión de inventarios y la definición de políticas de reabastecimiento no puede generalizarse para toda materia prima e insumo requerido por la organización, pues la incidencia que tiene el desabastecimiento de los diferentes recursos sobre la operación de la compañía no necesariamente será el mismo, hay recursos críticos que deben ser gestionados de manera mucho más estricta que otros recursos cuya ausencia no generan gran repercusión en la normalidad de la operación. De igual manera, las políticas cambian en función de la dificultad que tienen de adquirirse algunos recursos y esto estará asociado al número de fuentes de suministro en el mundo y la capacidad y calidad ofrecida por cada una de ellas, en términos generales la categorización de los recursos abastecidos por cada organización será determinante para la definición de políticas de inventarios.

Aspectos generales de los inventarios

Las virtudes del inventario son reconocidas desde los años 70, época donde era claro el beneficio que traía tenerlos pues permitían la operación sin interrupciones por agotamiento y donde los costos asociados a los mismos no eran relevantes dado que los márgenes no eran tan estrechos como lo son hoy en día producto de la agresiva competencia. La globalización de los mercados en las décadas siguientes provoca una serie de repercusiones a la gestión de inventarios como resultado del entorno competitivo y, como consecuencia, la preocupación por

los costos, de manera que los profesionales encargados del proceso empezaron a medir la rotación de los mismos como medida que muestra las veces que se renueva el inventario lo que en términos financieros es equivalente a establecer cuantas veces el inventario se monetariza producto de la venta.

La afectación al flujo de caja, producto de un amplio ciclo de inventarios, se hace evidente de manera que la gestión de inventarios adopta como principio la reducción de los mismos al máximo a través de diversas estrategias como la integración con proveedores (sincronización de flujos de información), aplicación de técnicas de pronóstico de menor error, definición de parámetros precisos en compras, entre otras que permitan de manera eficiente pasar de un modelo de producción distribución Push caracterizado por producir grandes cantidades de producto aprovechando economías de escala y empujarlos hacia los canales de distribución almacenando grandes volúmenes en su extensión, a un modelo que se active a partir de la demanda Pull y, por lo tanto, los volúmenes almacenados se reducen drásticamente.

Las condiciones del comercio global permiten a las organizaciones establecer relaciones de tipo comercial con otras en cualquier lugar del mundo y los niveles de integración en muchas ocasiones se fortalecen de tal manera que se configuran cadenas de suministro, definidas por Martin Christopher (2001) como “el proceso de administrar estratégicamente el movimiento y almacenaje de los materiales, partes y producto terminado desde el proveedor a través de la empresa hasta el cliente”. La administración estratégica del movimiento de materiales incluye necesariamente la definición de niveles de inventario que benefician a la cadena de suministro completa como sistema, quiere decir esto que se comprende que las políticas tomadas de manera individual por una organización no necesariamente beneficiarán a todo el sistema; la definición de políticas de inventario debe surgir entonces del desarrollo de prácticas cooperativas.

En la última década, los inventarios han recobrado parte de su popularidad y esto obedece a la turbulencia que caracteriza actualmente el escenario comercial y la consecuente tendencia al diseño de cadenas de suministro robustas. Para Sheffi (2005), los riesgos que afectan las cadenas de suministro actuales se pueden categorizar como fallas en suministro que se manifiestan como retrasos en el suministro o incapacidad del proveedor de despachar las cantidades requeridas y, en general, todo evento que interrumpa el suministro de recursos necesario para operar, las fallas en la demanda por su parte se manifiestan como el retraso o ausencia repentina de demanda, las fallas en transporte se manifiestan como la imposibilidad de transportar el producto, sea por ausencia de medios o infraestructura pública disponible, la falla en las instalaciones incluye cualquier tipo de instalación requerida para el flujo ininterrumpido de materiales y/o productos, la falla en la red de telecomunicaciones se manifiesta como la ruptura de los

flujos de información entre los actores que componen la cadena de suministro y que requieren de información para la coordinación precisa de los procesos logísticos que exige la operación comercial. Finalmente, Sheffi (2005) incluye las violaciones de la carga haciendo referencia a la contaminación de unidades de transporte (contrabando, narcotráfico, etc.); de esta manera los inventarios estratégicos se convierten en la principal medida para mitigar las afectaciones que pueden generar la ocurrencia de cualquiera de los riesgos definidos.

Tipología de los inventarios

El origen y el propósito de las unidades que se almacenan hacen necesaria su clasificación, pues su gestión obedecerá a particularidades según cada caso. Para Anaya (2011) los inventarios desde el punto de vista operativo pueden ser de carácter industrial o comercial; los primeros pueden ser:

- *Inventarios de materia prima*: corresponden a los recursos requeridos por el proceso de manufactura para su posterior transformación, exigen especial cuidado pues su sobredimensionamiento reduce la liquidez de la compañía dado que son recursos que necesitan varios procesos para su venta.
- *Inventarios de producto en proceso*: corresponden a recursos que avanzan por el sistema productivo y que adquieren valor a medida que lo hacen; obedecen a la falta de balanceo de las estaciones de trabajo, por ello no existen en sistemas de manufactura automatizados o todos aquellos que operen bajo principios justo a tiempo.
- *Inventarios de producto terminado*: corresponden a unidades de producto listos para su distribución, a corto plazo pueden dar liquidez a la compañía a través de su venta. Los inventarios de producto terminado con frecuencia tienen asociado un inventario de seguridad cuyo propósito en la organización es absorber las variaciones en la demanda o en los tiempos de respuesta de los proveedores entre otros.

El *stock* comercial, por su parte, corresponde a las existencias en puntos de venta. Ahora bien, desde el punto de vista funcional, Anaya (2011), sugiere considerar, para los procesos de gestión, los siguientes tipos de inventarios:

- *Inventarios en tránsito*: corresponde a todos aquellos materiales o productos terminados no disponibles para su uso o venta al público por encontrarse en tránsito entre la instalación remitente y aquella que lo demanda.

El tiempo de ciclo del inventario estará en función de la distancia entre los dos lugares y por supuesto el tiempo de tránsito entre los mismos, así como las operaciones de cargue y descargue, inspección y actualización de inventarios en cada lugar.

- *Inventario de seguridad*: corresponde a las cantidades existentes destinadas a evitar la ruptura del stock por demanda excesiva y no planeada, error de pronóstico y tiempos de respuesta por parte del proveedor superiores a la promesa de servicio.
- *Inventario estacional*: la demanda elevada de productos en algunos periodos provoca que las compañías nivelen la capacidad con inventarios que se utilizarán en épocas de gran demanda y surgen de las políticas de fabricación poco flexibles.
- *Inventario estratégico*: corresponde a las existencias disponibles en diferentes lugares de las redes de distribución y surgen de la estrategia definida para el proceso; permiten la toma de decisiones descentralizadas y la pronta recuperación del sistema de distribución ante eventos disruptivos.

Adicionalmente es importante considerar otro tipo de inventarios que deben ser gestionados y cuya relación con el nivel de servicio no se percibe de manera directa como lo es el inventario de unidades obsoletas (Inventario muerto), repuestos y consumibles.

Categorización de materiales o productos

La definición de políticas de inventarios para cada uno de los recursos que provisiona o produce la compañía resulta de un juicioso análisis inicial que permita determinar la importancia que tiene el recurso para la misma. En otras palabras, los mecanismos de control para evitar agotados se aplicarán con mayor rigor a aquellos recursos cuyo costo de agotamiento resulte más elevado para la misma. Existen diversos criterios que permiten realizar la categorización y su selección estará asociado al tipo de compañía y a la naturaleza de los recursos a categorizar, de esta manera es posible destacar los siguientes sistemas de categorización:

a. **Categorización XYZ:** sistema de categorización cuyo criterio empleado para separar por categorías los recursos es la criticidad del impacto ante su eventual agotamiento. Las categorías propuestas bajo este sistema son:

- *Categoría X. Ordinarios:* corresponde a aquellos recursos cuyo agotamiento provoca un impacto negativo al sistema productivo y comercial a corto plazo superables.
- *Categoría Y. Intercambiables:* corresponde a aquellos recursos cuyo agotamiento provoca un impacto negativo al sistema productivo y comercial pero que puede ser superado incorporando al proceso recursos sustitutos o funcionalmente similares.
- *Categoría Z. Vitales:* corresponde a aquellos recursos cuyo agotamiento provoca el colapso total del sistema de fabricación o comercial de la compañía. Será esta categoría aquella que tendrá un control mucho más estricto en términos de volúmenes existentes en tiempo real y definidos amplios stocks de seguridad o cualquier otra que asegure la existencia permanente del recurso.

b. **Categorización 1.2.3:** Sistema de categorización cuyo criterio empleado para separar por categorías los recursos es la complejidad del proceso de obtención del recurso, el criterio involucra cantidad y confiabilidad de fuentes de suministro, tiempos de respuesta por parte de los proveedores, volatilidad del precio, etc. Las categorías propuestas bajo este sistema son:

- *Categoría 1. Complejo:* corresponde a aquellos recursos cuyo aprovisionamiento resulta de procesos largos y caracterizados por altos niveles de incertidumbre, usualmente los materiales importados se ajustan de manera especial en esta categoría. Será esta categoría aquella que tendrá un control mucho más estricto en términos de volúmenes existentes en tiempo real y definidos amplios stocks de seguridad o cualquier otra que asegure la existencia permanente del recurso.
- *Categoría 2. Difícil:* corresponde a aquellos recursos cuyo aprovisionamiento se caracteriza por algunos factores que dificultan la compra y su disposición en la locación demandante; se suele presentar con algunos recursos que por su naturaleza presenta restricciones de transporte y por ello exige trámites especiales previos.
- *Categoría 3. Fácil:* corresponde a aquellos recursos cuyo aprovisionamiento resulta sencillo, se caracterizan por la simplicidad de su proceso administrativo de compra, tiempos de respuesta cortos y múltiples fuentes de suministro entre otras, puede citarse como ejemplo una compra nacional.

c. Categorización A.B.C: sistema de categorización cuyo criterio empleado para separar por categorías los recursos corresponde al margen de utilidad, ingreso o cualquier otro indicador de carácter monetario que permita medir el impacto económico que provoca el agotamiento de cualquier recurso.

La metodología propuesta por este sistema de categorización parte del principio de Pareto de manera que aduce que en una pequeña cantidad de referencias (aproximadamente el 20% del total de ellas) se concentra la mayor cantidad de beneficio (utilidad, ingreso u otro según el caso) y este equivaldrá aproximadamente al 80% del beneficio económico total. La metodología resulta importante para compañías comercializadoras ya que es posible definir políticas de inventario y estrategias de control riguroso sobre aquellas referencias que representen mayor beneficio económico. No obstante, su implementación asegura de la misma manera los recursos requeridos para la fabricación de unidades de gran margen en empresas de manufactura. Para comprender la metodología veamos un ejemplo:

Considere una compañía comercializadora que posee un portafolio de 10 productos y pretende gestionar sus inventarios utilizando como único criterio la utilidad anual que reporta cada uno de ellos; los datos históricos con respecto a la utilidad del año inmediatamente anterior se muestran en la tabla 14:

Tabla 14

Datos de entrada

Referencia de producto	Utilidad anual
REF 0001	13.000
REF 0002	9.000
REF 0003	24.000
REF 0004	20.000
REF 0005	97.000
REF 0006	11.000
REF 0007	3.000
REF 0008	7.000
REF 0009	4.000
REF 0010	99.000

Fuente: elaboración propia.

La metodología siguiere inicialmente ordenar de mayor a menor las ventas del portafolio de productos que se quieren categorizar y, una vez ordenados, es necesario establecer la participación porcentual de cada uno de los productos de manera que se conozca aquellos que contribuyen en mayor cuantía a la utilidad anual del negocio, finalmente, se calcula el acumulado que será de utilidad para el análisis y toma de decisiones con respecto a las políticas de inventario de cada una de las referencias. El resumen de cálculo se muestra completo en la tabla 15.

Tabla 15

Resumen de cálculo

#	Referencia de producto	Utilidad anual	%	Acumulado
1	REF 0010	\$ 99.000	0,3449	0,344947735
2	REF 0005	\$ 97.000	0,338	0,682926829
3	REF 0003	\$ 24.000	0,0836	0,766550523
4	REF 0004	\$ 20.000	0,0697	0,836236934
5	REF 0001	\$ 13.000	0,0453	0,881533101
6	REF 0006	\$ 11.000	0,0383	0,919860627
7	REF 0002	\$ 9.000	0,0314	0,951219512
8	REF 0008	\$ 7.000	0,0244	0,975609756
9	REF 0009	\$ 4.000	0,0139	0,989547038
10	REF 007	\$ 3.000	0,0105	1
	Ventas Totales	\$ 287.000		

Fuente: elaboración propia.

De la tabla anterior se deduce que entre los productos de referencia 0010 y 0005 se concentra el 68,29% de la utilidad anual y, por lo tanto, serán las referencias objeto de un control más estricto que evite su agotamiento. La figura 8 presenta el comportamiento de las ventas anuales y el acumulado porcentual de las mismas.

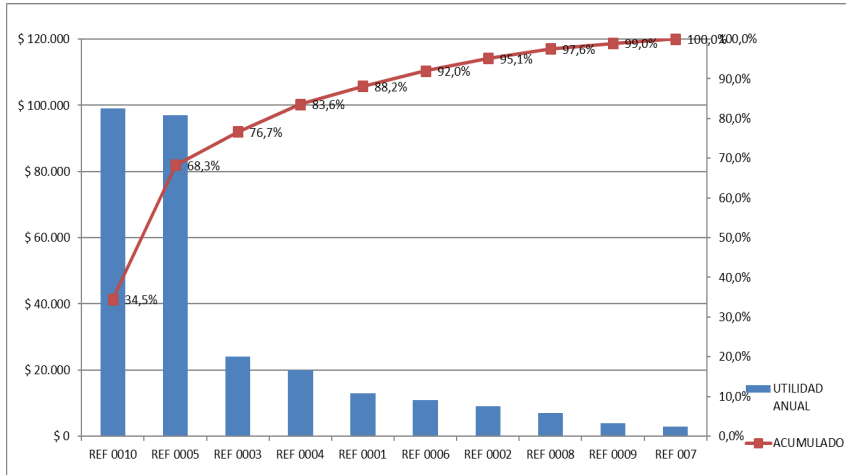


Figura 8. Ventas anuales y el acumulado porcentual. Elaboración propia.

La categorización de inventarios ABC sugiere establecer tres categorías de manera que la categoría A estará compuesta por aquellas referencias que contribuyen al 70% del indicador empleado, que para este caso se trata de la utilidad; en la categoría B se encontrarán aquellas referencias que contribuyen con el 20% siguientes al límite superior fijado por la categoría A y se perciben en el análisis anterior como aquellas referencias cuyo acumulado se encuentra entre 0,70 y 0,90 aproximadamente, categoría en la cual debemos incluir las referencias 0003,0004,0001 y 0006 cuya utilidad acumulada al año contribuye en un 23% a las ventas totales anuales. Finalmente, se identifican aquellas referencias que tienen una pequeña contribución sobre la utilidad anual en este caso menor al 10%, categoría que incluye las referencias 0002, 0008, 0009 y 0007.

Las estrategias de gestión asociadas a este sistema de categorización pueden cambiar de un negocio a otro debido a la naturaleza de los productos y los objetivos de servicio al cliente establecidos por la compañía; sin embargo, es común encontrar en el negocio del mercado detallista por ejemplo prácticas como el retiro periódico de recursos tipo “C” previa su valoración estratégica para el negocio de manera que se renueve de manera permanente el surtido; adicionalmente, a las referencias que ingresan se les suele dar la categoría “B” por un par de meses para luego ser recategorizados de acuerdo al comportamiento de sus ventas.

Definición de políticas de inventarios

La decisión de las organizaciones sobre las cantidades a pedir cada vez y a su frecuencia estará en función de una serie de variables características del mercado como la demanda, las políticas de despacho de los proveedores, la variabilidad en los tiempos de entrega, entre otras. No obstante, es necesario comprender la función de inventarios como se muestra en la figura 9.

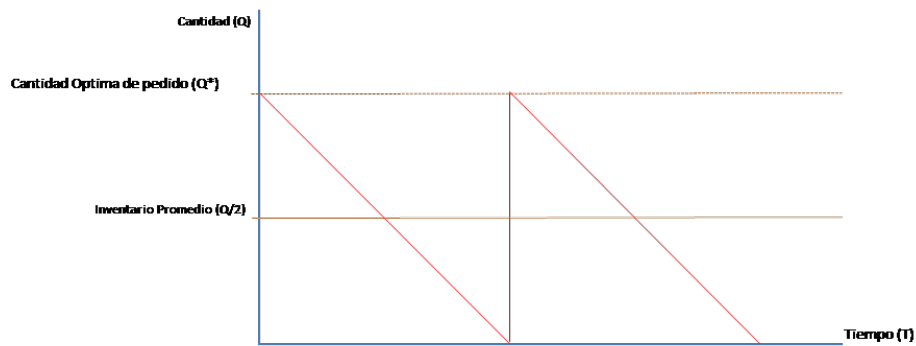


Figura 9. Función clásica de inventarios. Adaptado de Chopra (2013).

De la gráfica se deduce que siendo el eje de las ordenadas aquel que mide las cantidades, el aprovisionamiento es instantáneo. Esto quiere decir que las cantidades se incrementan de 0 a Q en un solo instante lo cual es típico de las compañías comercializadoras. Adicionalmente, se percibe un descenso en las cantidades almacenadas con el transcurrir del tiempo hasta llegar al agotamiento total (es decir, aquel punto donde la cantidad es 0) en el que se espera que el ciclo de aprovisionamiento se repita lo que es igual a recibir un pedido que eleve las cantidades de 0 a Q . Es importante notar que, de no llegar el pedido, las cantidades se seguirán demandando lo que provocará la ruptura del stock y, con ello, todos los perjuicios que representa para la compañía como la insatisfacción y pérdida del cliente, sanciones económicas por incumplimiento, etc.

En términos generales, el modelo presentado en la figura 9 se caracteriza por una demanda conocida y constante y variabilidad nula en los tiempos de respuesta del proveedor (*Lead Time*), características que tal vez no reflejan la mayoría de los complejos entornos en los cuales se desenvuelven actualmente los negocios pero que, sin lugar a duda, permiten abordar de manera básica los fundamentos para la definición de políticas de inventarios.

Para efectos del costeo de una política de inventarios resulta de gran utilidad conocer la cantidad de unidades promedio que se encontraran por unidad de tiempo en el almacén de manera que sea posible estimar el costo de mantenimiento del inventario el cual se causa por unidad de producto y con frecuencia se define como un porcentaje del costo de adquisición de cada unidad. La figura 9 muestra la cantidad promedio de unidades en inventario como $Q/2$ y su interpretación se puede comprender mejor a través de un simple ejemplo; suponga que la demanda del producto es de 1200 unidades al año y la cantidad a comprar cada vez es de 200 unidades de producto, quiere decir esto que los pedidos se hacen cada dos meses (6 pedidos al año), lo cual se conoce como el ciclo de pedido y las unidades en inventario tienen el comportamiento presentado en la tabla 16 considerando una demanda constante de 25 unidades semanales:

Tabla 16

Comportamiento del inventario

Periodo	Unidades inventario
Semana 0	200
Semana 1	175
Semana 2	150
Semana 3	125
Semana 4	100
Semana 5	75
Semana 6	50
Semana 7	25
Semana 8	0

Fuente: elaboración propia.

De esta manera el inventario promedio estará definido como:

Σ unidades en inventario/número de semanas requeridas para el almacenamiento de la cantidad comprada (Q)

Para este caso el inventario promedio será:

$$900/9 = 100 \text{ Unidades o lo que es equivalente a } Q/2 = 200/2$$

El mantenimiento de inventario consume una serie de recursos que vale la pena estimar pues se relacionan con aquellas erogaciones económicas en que incurre la compañía para resguardar de manera segura y ordenada los bienes adquiridos; es decir los servicios de vigilancia, seguros e infraestructura requerida para el propósito entre otros. No obstante, es importante aclarar que existe una relación lineal entre el número de unidades almacenadas y el costo de mantenimiento, lo cual implica que a mayor inventario promedio resultado de las políticas de inventarios mayor será el costo de mantener. El objetivo del administrador de inventarios será reducir el inventario promedio a fin de lograr una reducción en costos de mantener y en muchas ocasiones esta reducción se logra con cambios simples en la programación de reabastecimiento; para entender el concepto consideremos ahora la siguiente situación:

Suponga un producto cuya demanda e inventario resultante se muestra en la tabla 17:

Tabla 17

Demanda e inventario resultante

Periodo	Demanda	Inventario Inicio de Semana
Semana 0	100	900
Semana 1	200	800
Semana 2	200	600
Semana 3	100	400
Semana 4	100	300
Semana 5	100	200
Semana 6	100	100
Semana 7	100	0- 900
Semana 8	100	800
Semana 9	200	700
Semana 10	200	500
Semana 11	100	300
Semana 12	100	200
Semana 13	100	100
Semana 14	100	0

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el comportamiento de la demanda descrito en la tabla 17 queda claro que esta no es uniforme, que la cantidad de pedido es de 900 unidades cada vez y que tal cantidad reabastece el almacén cada 7 semanas. Lo anterior explica las cantidades mostradas en la tabla anterior en la celda que corresponde al inventario al comienzo de la semana 7 donde, por una parte, 0 que hace referencia a la salida total de existencias del ciclo anterior y, adicionalmente, 900 se refiere a la llegada de 900 unidades del ciclo que inicia, tal como se muestra en la figura 10.

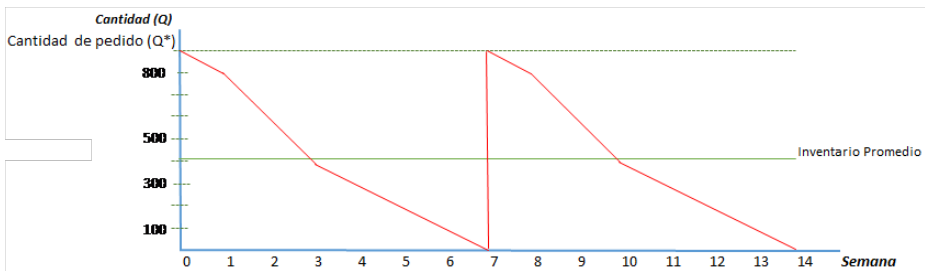


Figura 10. Función de inventarios con demanda no uniforme. Elaboración propia.

Dando cuenta de un inventario promedio de:

$$\text{Inventario Promedio} = (900+800+600+400+300+200+100+0) / 8 = 412,5 \text{ unidades.}$$

De otra forma para el mismo comportamiento de la demanda y la misma política de inventarios, es decir, con una cantidad de pedido de 900 unidades y una frecuencia entre ellos de 7 semanas es posible que la decisión de mover el inicio de ciclo pueda traer beneficios económicos para el sistema.

Para comprender la repercusión que tiene el inicio de ciclo sobre el inventario promedio y su costo de mantenimiento es importante notar cómo varía el sistema de ejemplo si el ciclo de abastecimiento no comienza en el periodo (semana) 0 sino que lo desplazamos a voluntad hacia comienzos de la semana 1 tal como se muestra en la figura 11.

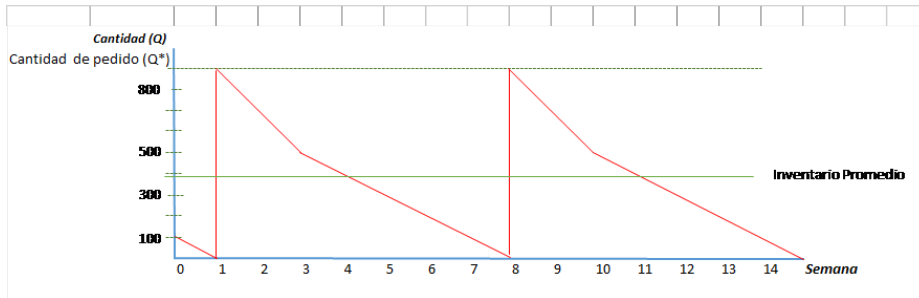


Figura 11. Inventario desplazando inicio de ciclo. Elaboración propia.

Note que la amplitud del ciclo se mantiene en 7 semanas, esto es el tiempo transcurrido entre pedido y pedido y el inventario promedio para el caso será:

$$\text{Inventario Promedio} = (900+700+500+400+300+200+100+0) / 8 = 387,5 \text{ unidades.}$$

De acuerdo con los inventarios resultantes del desplazamiento del inicio de ciclo una semana como se muestra en la tabla 18:

Tabla 18

Demanda e inventario resultante nuevo inicio de ciclo

Periodo	Demanda	Inventario Inicio de Semana
Semana 0	100	
Semana 1	200	900
Semana 2	200	700
Semana 3	100	500
Semana 4	100	400
Semana 5	100	300
Semana 6	100	200
Semana 7	100	100
Semana 8	100	0- 900
Semana 9	200	800
Semana 10	200	600

Semana 11	100	400
Semana 12	100	300
Semana 13	100	200
Semana 14	100	100
Semana 15	100	0

Fuente: elaboración propia.

El desplazamiento del inicio de ciclo para este caso reduce en 25 unidades el inventario promedio anual, lo cual se explica por la salida pronta de grandes cantidades de producto del almacén ya que los periodos de demanda al inicio del ciclo (Semana 1 y 2) son aquellos de mayor demanda dentro del sistema. Adicionalmente, la reducción del inventario promedio sugiere la reducción proporcional de los costos de mantenimiento sobre los cuales se profundizará en apartados posteriores.

La reducción del inventario promedio para la situación tratada representa de igual manera una reducción importante en los requerimientos de espacio en el almacén, de manera que se hace necesario estimar la reducción porcentual en espacio al desplazar el inicio del ciclo de abastecimiento, la figura 12 presenta un análisis simple que permite identificar de manera sencilla los requerimientos de espacio de la situación inicial; para ello, se estimará el área cuadriculada como el espacio requerido por la compañía para almacenar.

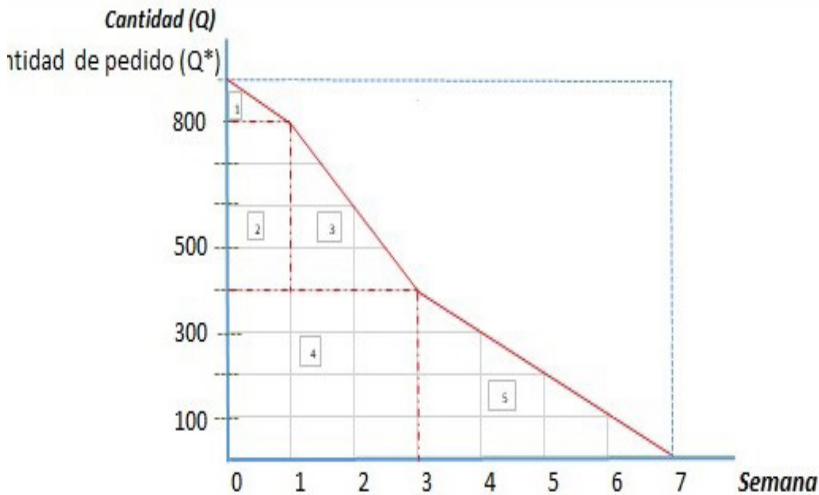


Figura 12. Estimación de espacio para almacenamiento inicial. Adaptado de Soret (2006).

Note que el área cuadriculada se ha dividido en sectores para facilitar el cálculo y cada uno de ellos se ha marcado con un número que se asocia con el cálculo de su área de la siguiente manera:

- El área 1 será... $(100*1) / 2 = 50$
- El área 2 será... $(400*1) = 400$
- El área 3 será... $(400*2) / 2 = 400$
- El área 4 será... $(400*3) = 1200$
- El área 5 será... $(400*4) / 2 = 800$

De manera que el requerimiento total de área para almacenar será equivalente a 2850 unidades. Al realizar el mismo análisis para el caso en que se desplaza el inicio de ciclo, figura 13 describe las áreas a considerar:

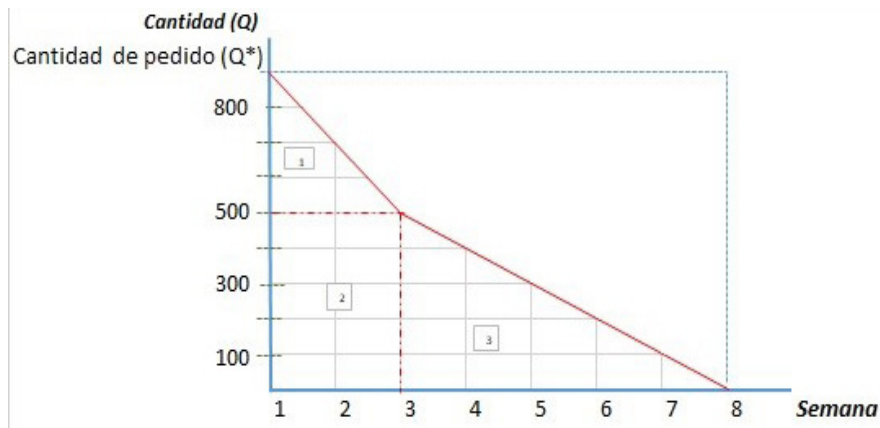


Figura 13. Estimación de espacio para almacenamiento nuevo inicio de ciclo.

Adaptado de Soret (2006).

- El área 1 será... $(400*2) / 2 = 400$
- El área 2 será... $(500*2) = 1000$
- El área 3 será... $(500*5) / 2 = 1250$

De manera que el requerimiento total de área para almacenar será equivalente a 2650 unidades, lo que representa un 7% menos de espacio requerido por la implementación de la política de inventarios inicial (sin desplazamiento del inicio de ciclo).

Los costos asociados a las políticas de inventarios

La definición de políticas de inventarios con el transcurrir del tiempo ha sido un campo de la administración muy explorado debido a la importancia que tienen estos para la satisfacción al cliente pero que, sin lugar a duda, parte del interés resulta de los elevados costos que las compañías deben asumir por estos. Desde el modelo clásico de Wilson para la racionalización de los inventarios se identifican tres costos principales a considerar en la definición de políticas; el modelo clásico considera que hay un costo de comprar, un costo de mantener y un costo de ordenar; definidos de la siguiente manera:

a) *Costo de comprar*: corresponde a la cantidad de recursos invertidos en la adquisición de los bienes requeridos por la compañía y será el resultado de multiplicar las cantidades demandadas por el costo unitario. El costo de comprar o adquirir, como lo llaman algunos autores, supone un comportamiento lineal en el modelo clásico, esto quiere decir que tal costo se incrementa proporcionalmente con el incremento de las unidades por comprar, quiere decir que no considera descuentos por volumen y que si una unidad de producto vale \$ 10 entonces el costo de adquirir 20 unidades será \$ 200. El costo de comprar se mantiene constante en el tiempo pues la demanda estimada por unidad de tiempo no cambia y que multiplicada por el costo de adquirir unitario resultara el costo total de adquisición y es por lo tanto independiente de la política de inventarios definida.

b) *Costo de mantener*: corresponde a las erogaciones económicas en las que incurre la compañía por retener unidades en el almacén; para Chopra (2013) los costos asociados al mantenimiento son:

- *Costos de capital*: hace referencia al valor del dinero invertido en unidades que se almacenaran por un lapso y que de no estar invertido de esa manera podían estar generando rendimientos en otro tipo de inversión, es decir, que el costo asociado por este concepto mide lo que se deja de percibir o ganar al invertir en inventarios también llamado costo de oportunidad.
- *Costo de deterioro*: hace referencia al valor perdido por condiciones del mercado o lo que se puede denominar obsolescencia y pérdida de valor por afectaciones a la calidad.
- *Costo de manejo*: hace referencia al costo de las operaciones de almacenamiento y el consumo de recursos de estas desde la recepción hasta el despacho de unidades del almacén, manipulación de productos y transporte intramural.

- *Costo de ocupación*: hace referencia a al costo del espacio requerido para el almacenamiento.
 - *Costos varios*: hace referencia a todo aquel costo no incluido en los costos mencionados como lo son pérdidas por merma, seguro e impuestos entre otros.
- c) *Costo de ordenar*: corresponde a las erogaciones económicas incurridas por la compañía cada vez que lanza una orden de compra, esto incluye mano de obra, telecomunicaciones, papelería, costos bancarios, aduanas, transportes, etc.

Los costos de mantener y ordenar definen la política de inventarios, recordemos que los costos de comprar o adquirir se mantienen constantes en el tiempo, razón por la cual para el análisis se descarta. Los costos de mantener se suelen presentar como un porcentaje del costo unitario de cada producto, lo que quiere decir que entre más costoso sea el producto para almacenar mayor será el costo de mantener razón por la cual los profesionales encargados de los inventarios tratan de reducir al máximo el inventario promedio, no obstante, la manera de hacerlo es ordenando cada vez menos unidades en cada pedido.

La estrategia de ordenar cada vez menos unidades de producto por pedido permite un gran beneficio para la compañía, sin embargo, incrementa el número de pedidos al año y, por lo tanto, el costo de ordenar. La decisión entonces está en encontrar aquel punto donde los costos de mantener compensen los costos de ordenar. Para comprenderlo mejor es importante tratarlo a través de un ejemplo:

Sea,

- Demanda (D) expresada en unidades al año.
- Cantidad de pedido (Q) expresado en unidades.
- Costo de mantener (H) y se expresará a partir de $i \cdot c$ donde i será el valor porcentual a pagar por mantener una unidad de producto y c el costo unitario.
- Costo de Ordenar (K) y con el fin de conocer su valor anual tendrá que ser multiplicado por el número de pedidos al año que se define como D/Q .

Además, es necesario recordar que el modelo clásico supone una demanda constante como se mostró en la figura 9 y por lo tanto el inventario promedio es $Q/2$. Así el costo de inventarios total (Anual) será:

$$CT = \text{Costo de adquirir} + \text{Costo de Mantener} + \text{Costo de Ordenar}$$

$$CT = (D \cdot c) + (Q/2)(H) + (D/Q)(K)$$

De esta manera si la demanda anual de un producto es de 50 unidades, el costo de ordenar es de \$30 unidades monetarias, el costo de compra de cada unidad de producto es de \$120 unidades monetarias y la tasa de mantenimiento es de 5% la función de costo total tendrá la forma que presenta la figura 14.

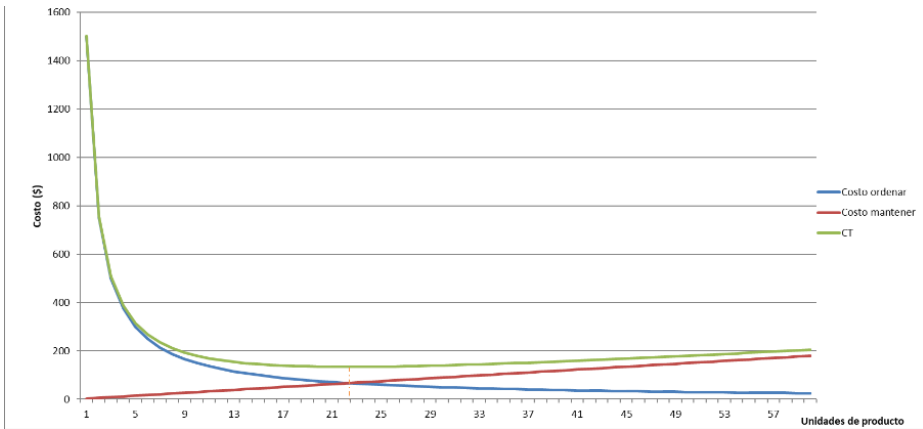


Figura 14. Función de costo total. Elaboración propia.

La serie denominada “Costo de ordenar” muestra un comportamiento descendente conforme aumenta el número de unidades por pedido ya que tal aumento reduce el número de pedidos al año y, por lo tanto, el número de órdenes por emitir, por otra parte, la serie denominada “Costo mantener” presenta un comportamiento creciente conforme aumenta el número de unidades por pedido lo cual obedece a una mayor cantidad de unidades en el almacén ($Q/2$) durante el horizonte de planeación. El costo total será la suma de los dos costos de interés evaluados para cada una de las cantidades como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19

Evaluación de función de costo total

Q	Costo Ordenar	Costo Mantener	Costo Total
5	300	15	315
10	150	30	180
15	100	45	145
20	75	60	135
25	60	75	135
30	50	90	140
35	42,85714286	105	147,857143

40	37,5	120	157,5
45	33,33333333	135	168,333333
50	30	150	180

Fuente: elaboración propia.

Como se percibe en la tabla y se corrobora a través de la gráfica, el costo total más bajo se logra al ordenar entre 20 y 25 unidades cada vez con un costo total asociado a \$ 135 unidades monetarias, no obstante, es posible que dentro del rango mencionado se logre un costo total menor al identificado y que gráficamente no es posible identificar. La identificación de aquella cantidad (Q) que asegure el mínimo costo total se logrará a través de la derivada de la función de costo total con respecto a Q e igualando dicha derivada a 0 con el fin de establecer con precisión aquel punto de la curva cuya pendiente es cero; sin embargo, el mínimo de la función corresponde para Q al punto de corte entre la función del costo de mantener y el costo de ordenar lo que quiere decir que hay un valor de Q que satisface la igualación de juntas funciones de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}(Q/2) * H &= (D/Q) * K \\(Q/2) &= (D*K) / (Q*H) \\Q^2 &= (2*D*K) / H \\Q &= \sqrt{((2*D*K) / H)}\end{aligned}$$

Para el ejemplo $Q = \sqrt{((2*50*30)/6)} = 22,3$ unidades, lo que significa que los pedidos deben tener esta cantidad para lograr el mínimo costo total de la función de inventarios, sin embargo, las cantidades a pedir deben ser unidades completas lo cual invita a evaluar la función de costo total con un valor de Q de 22 y 23 respectivamente, el costo total con una política de inventarios donde Q = 22 tiene un costo total asociado de \$ 134,1 y para Q = 23 el costo total anual es de \$ 134,2.

Siendo la cantidad optima a ordenar cada vez 22 unidades de producto el número de pedidos al año será:

$$N = D/Q$$

Para el caso $N = 50/22$ de manera que el número de pedidos al año será 2,27 y el tiempo entre pedidos será de 158,5 días considerando un año de 360 días.

El análisis expuesto permite conocer las cantidades a aprovisionar cada vez, sin embargo, es importante tener en cuenta que las cantidades en inventario son el resultado de la tasa de consumo o demanda del producto por unidad de

tiempo, razón por la cual el tiempo entre pedidos realmente será igual durante el año si y solo si la demanda es constante en el tiempo, de lo contrario para temporadas de mayor consumo el ciclo será mucho más corto (las unidades abastecidas se consumen más rápido) que para aquellas temporadas que demuestran el consumo medio del producto. De esta manera es importante establecer el momento preciso en el cual debe hacerse el lanzamiento de la orden de compra y para ello el control sobre las existencias se hace indispensable, de manera que los modelos de revisión para su control son:

- *Modelos de revisión periódica*: sugieren la verificación de las unidades existentes con una frecuencia determinada por la compañía con el propósito de completar a través de un pedido las unidades faltantes de acuerdo con la cantidad máxima fijada por la política de inventarios para cada recurso.
- *Modelo de revisión continua*: sugiere la verificación permanente de unidades existentes en el almacén de manera que se perciba el momento en el que las cantidades descienden hasta una cantidad específica denominada punto de reorden que hace parte de la política de inventarios definida por la compañía como aquella cantidad necesaria para satisfacer la demanda durante el tiempo que transcurre entre el lanzamiento de la orden de pedido y la recepción del mismo, es decir, el tiempo que tarda en reaccionar el proveedor, tiempo denominado *Lead Time*. Los modelos de revisión continua permiten la integración de la compañía con los demás eslabones de la cadena de suministro, no obstante, la eficacia de la integración está sujeta al flujo ininterrumpido de información y por supuesto a sistemas de información complejos e integrados que faciliten la toma adecuada de decisiones.

Los inventarios en las cadenas de suministro

La gestión de los inventarios en las cadenas de suministro son el resultado de las prácticas desarrolladas al respecto por las compañías que la integran, de manera que las políticas definidas por cada uno de los nodos afectará en diferente proporción el tiempo de flujo promedio de las unidades en el sistema y que corresponde al tiempo que transcurre entre el ingreso de las unidades a la cadena de suministro y el momento en que abandona la misma y constituye el indicador a través del cual se mide la eficiencia de las políticas de inventarios en la cadena de suministro.

Para Chopra (2013) existe una relación directa entre el inventario de ciclo y el tiempo de flujo promedio, así que en la medida en que se reduce el inventario

promedio se reduce el tiempo de flujo promedio, sin embargo, existe una tendencia marcada hacia la explotación de economías de escala que como consecuencia implica el incremento en los inventarios promedio de ciclo afectando la eficiencia del sistema. Los descuentos por cantidad y el interés constante de optimizar el espacio en las unidades de transporte son solo algunas de las razones que invitan al aprovechamiento de las economías de escala y que conducen a decisiones nodales desconociendo el costo total de la política para la cadena de suministro.

Existe una serie de relaciones entre variables consideradas en la definición de políticas de inventarios que resulta indispensable tratar dado que la decisión de reducir las cantidades de pedido impacta el número de pedidos, el tiempo de flujo promedio y por lo tanto los costos asociados a la política de aprovisionamiento. A partir del ejemplo anterior revisaremos algunas situaciones que ayudarán a comprender las relaciones entre variables a las que se hace referencia. Recordemos que el caso sugería que la demanda anual de un producto es de 50 unidades, el costo de ordenar es de \$ 30 y el costo de compra de cada unidad de producto es de \$ 120, además destaca que la tasa de mantenimiento de inventarios es del 5 % del valor de compra, condiciones que conducen a una cantidad económica de pedido de 22, 3 unidades de producto cada vez y que luego de la estimación del costo total de la política para cantidades de 22 y 23 (ya que usualmente no es posible aprovisionar fracciones de producto) teníamos como cantidad definitiva a aprovisionar cada vez 22 unidades. Ahora el concepto de tiempo promedio de flujo en la cadena de suministro puede ser tratado a través de este ejemplo considerando que puede ser calculado a través de:

$$\text{Tiempo promedio de flujo} = Q/2D$$

Que para el caso es $11/50 = 0,22$ años o lo que es equivalente a 2,64 meses, tiempo que dura en promedio una unidad de producto dentro del sistema. Las decisiones orientadas a la gestión de los inventarios en la cadena de suministro buscan reducir el tiempo promedio de flujo, no obstante, no basta con bajar las cantidades de pedido de manera arbitraria sin modificar el resto de condiciones pues de hacerlo se provocará un desplazamiento en la función de costo total mostrada en la figura 14 y provocando un incremento en el mismo, como ejemplo suponga que se reduce la cantidad de pedido a 15 unidades de producto cada vez considerando la misma estructura de costos de la situación inicial, si bien el inventario de ciclo promedio se reduce a 7,5 unidades y el tiempo de flujo promedio será 0,15 años o lo que es igual 1,8 meses, el costo total es de \$ 145 es decir presenta un incremento del 8 % con respecto al costo óptimo \$ 134,2 logrado al pedir 22 unidades.

Para Chopra (2013) un incremento en la demanda en N veces, provoca un incremento en el tamaño del lote óptimo de pedido a razón de \sqrt{N} y en la misma proporción lo hará el número de pedidos; por su parte, el tiempo promedio de flujo se reducirá en razón de \sqrt{N} . De esta manera, cualquier ajuste en busca de una reducción del tiempo de flujo promedio debe buscarse cambiando no solo la cantidad económica de pedido, sino que adicionalmente es necesario buscar la reducción de los costos fijos incluidos en el costo de ordenar. Suponga nuevamente los datos iniciales del ejemplo y considere la necesidad de reducir la cantidad económica de pedido un 50 %, es decir, a 11 unidades de producto cada vez sin afectar el costo total de la política, ¿cuál tendrá que ser el costo de ordenar? Para responder a la pregunta partimos del siguiente análisis:

$$\begin{aligned} \text{Si } Q &= \sqrt{(2 \cdot D \cdot K) / H} \\ Q^2 &= (2 \cdot D \cdot K) / H \\ K &= (H \cdot Q^2) / 2D \end{aligned}$$

Reemplazando, tenemos: $K = 6 \cdot (11^2) / 100 = 7,26$ y, de esta manera, se concluye que la reducción en la cantidad económica de pedido en un factor N se logra reduciendo el costo de ordenar en un factor N^2 de manera que no se afecte el costo total óptimo.

En la actualidad son muchas las compañías que logran el beneficio de economías de escala a través de la integración de pedidos y, aunque la aplicación de dicha estrategia requiere que productos de la misma naturaleza, resulta eficaz a la hora de reducir el tamaño de lote, de esta manera si se realizan desde la misma ubicación n pedidos que pueden compartir la unidad de transporte, los costos fijos pueden ser distribuidos entre los n pedidos como si se tratara de uno solo. Suponga que se trata de tres productos de características similares cuya demanda es de 1400 unidades año para cada uno de ellos y los costos asociados son los mismos de la situación tratada en apartados anteriores. Si los pedidos se realizan de manera separada el sistema se comporta de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{(2 \cdot 1400 \cdot 30) / 6} \\ Q &= 118 \text{ unidades para cada producto.} \\ \text{Número de pedidos año} &= 11,8 \text{ pedidos año} \end{aligned}$$

Luego el costo total para el sistema está dado por... $(11,8 (30) + 59 (6))$
 $\cdot 3 = \$ 2124$

Al integrar las ordenes de pedido, el resultado será el siguiente:

$$Q = \sqrt{(2 \cdot 4200 \cdot 30) / 6}$$

$Q = 205$ unidades entre los tres productos, esto es aproximadamente 68 unidades por tipo de producto.

Número de pedidos año = $20,4$ pedidos año

Luego el costo total para el sistema está dado por... $(20,4 (30) + 102,5 (6)) = \$ 1227$

La reducción de costos tras la agregación de órdenes de pedido es evidente como se percibe en el ejemplo, no obstante, se incrementan los tiempos de recibo de mercancías y actualización de inventarios al llegar vehículos con carga consolidada, situación que puede ser resuelta a través de la incorporación de tecnologías de captura automática de información que brinden velocidad al proceso.

La situación de consolidación expuesta sugiere no solamente productos de la misma naturaleza, sino que además considera idénticos volúmenes demandados por unidad de tiempo, lo cual describe situaciones muy específicas que distan en muchas ocasiones del comportamiento real de los requerimientos de una compañía. La agregación de pedidos, sin embargo, puede llevarse a cabo para productos con distintos volúmenes demandados y costos de ordenar distintos para los cuales se concibe la posibilidad de compartir la unidad de transporte, de esta manera el costo de ordenar estará compuesto por un costo fijo asociado al lanzamiento del pedido consolidado (usualmente considera el costo administrativo, mano de obra y telecomunicaciones entre otros) y un costo asociado al pedido de cada una de las referencias consolidadas, de modo que se puede expresar de la siguiente forma:

$$K_T = K + K_1 + K_2 + \dots + K_n$$

Donde:

K_T = Costo total de ordenar un pedido con n productos consolidados.

K = Costo fijo de lanzar una orden de pedido independiente el número de productos agregados.

K_i = Costo fijo de lanzar una orden de pedido del producto i .

Si consideramos la función de costo total asociada a la política de inventarios como la suma del costo de ordenar al año más el costo total de mantener en el mismo horizonte de tiempo, entonces el costo total de ordenar está definido como $K_T * n$ siendo n el número de pedidos al año y, por su parte, el costo de mantener se define como $(D_i * H_i) / 2n$ para cada uno de los productos agregados, note que no es otra cosa que la cantidad de pedido para el producto i definido como (D_i/n) dividido entre 2 ya que se trata del inventario promedio y multiplicado por el

costo de mantener H. De esta manera la función de costo total para la agregación de productos en una sola orden de pedido está dada por:

$$CT = (D_1 * H_1) / 2n + (D_2 * H_2) / 2n + \dots + (D_n * H_n) / 2n + (K_T * n)$$

Y cuya primera derivada con respecto a n e igualando a 0 nos dará el número óptimo de pedidos:

$$n^* = (\sum_{i=1}^n D_i H_i / 2KT)^{1/2}$$

Supongamos la siguiente situación para comprender la estimación de la frecuencia de abastecimiento a través de la agrupación de varios productos en la misma orden de pedido. El costo de lanzar una orden de pedido independientemente del tipo de producto o de la demanda del mismo es de \$ 27, se identifica además la posibilidad de agrupar tres productos en una sola orden de pedido cuyas demandas son 65, 940 y 880 respectivamente, su costo de orden individual es de \$ 12, \$ 15 y \$ 16 respectivamente y el costo de mantenimiento es de 8 por unidad de producto.

Considerando que $K_T = 27 + 12 + 15 + 16 = 70$, el número de pedidos para el caso será:

$$(((65 * 8) + (940 * 8) + (880 * 8)) / 2 * (70))^{1/2} = 10,3 \text{ pedidos al año.}$$

Aproximando el número de pedidos a 12, la política de inventarios para el conjunto de productos agregados queda definida como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20

Política de inventarios

Política de inventarios orden de pedido agregada			
Producto	Producto 1	Producto 2	Producto 3
Q	7	92	86
Inventarios de ciclo (Q/2)	3,5	46	43
Número de pedidos al año (n)	10,3	10,3	10,3
Tiempo de flujo promedio (meses)	0,58	0,58	0,58
Costo de mantenimiento	28	368	344

Fuente: elaboración propia.

El valor de Q para cada uno de los productos resulta de D_i/n . El tiempo de flujo promedio, por su parte, resulta de $Q_i/(2D_i)$ mientras que el costo de mantener, como se explicó previamente, resulta de $(D_i * H)/2n$. Es pertinente aclarar que los valores han sido redondeados para lograr una mejor claridad del caso, así pues, el costo total será:

$$(28+368+344) + (70 * 10,3) = \$1461 \text{ unidades monetarias.}$$

La integración de pedidos permite el aprovechamiento de economías de escala como se ha demostrado hasta el momento, sin embargo, en situaciones como la anterior, caracterizada por una diferencia significativa en la demanda de los productos (específicamente la del producto 1 con respecto a los otros), es posible lograr soluciones más eficientes si se integran cada vez las ordenes de pedido para diferentes productos de acuerdo con su demanda. Quiere decir esto que, a diferencia de la solución del caso anterior donde en cada uno de los 11 pedidos proyectados al año aparecen requerimientos de los tres productos, sea posible la combinación de diferentes productos en cada orden de pedido obedeciendo a la demanda total de los mismos. Chopra (2013) desarrolla una metodología que permite definir la frecuencia con la cual se integra la orden para cada uno de los productos aprovisionados por la compañía, y sugiere inicialmente la valoración de la frecuencia de pedidos para cada uno de los productos requeridos de manera independiente a través de la expresión:

$$t_i = \sqrt{((H_i D_i)/2(K + K_i))}$$

La estimación de t_i permite reconocer aquel producto que de aprovisionarse de manera individual presenta la mayor frecuencia de pedido (t_i^*). Una vez reconocido el producto cuya frecuencia de pedidos es mayor, debe estimarse ahora la posible frecuencia de pedido para los demás productos considerando única y exclusivamente el costo de ordenar individual asociado a cada uno de los productos (K_i), de la siguiente manera:

$$T_i = \sqrt{((H_i D_i)/2(K_i))}$$

Es necesario ahora encontrar una forma de relacionar la frecuencia de pedido del producto más popular y cada uno de aquellos que no lo son, para lo cual se emplea:

$$r_i = t_i^* / T_i$$

Todos los valores r_i se redondean al entero inmediatamente superior, pues solo así tienen sentido, tenga en cuenta además que la estimación de r_i permite encontrar una relación entre la frecuencia del producto con mayor frecuencia de pedido y los demás, razón por la cual se considerara que la relación r_i para el producto más popular será igual a 1 y se empleara de esta manera en la siguiente expresión, propuesta para recalcular la cantidad de pedidos del producto con mayor frecuencia de pedidos considerando la relación entre la frecuencia con los demás productos.

$$n^* = (\sum_{i=1}^n Dir_i H_i / 2(K + \sum_{i=1}^n K_i / r_i))^{1/2}$$

y el costo total para el caso está definido por

$$CT = (n^* K) + (\sum_{i=1}^n n_i * K_i) + \sum_{i=1}^n (D_i / 2n_i) H_i$$

La función de costo total presenta en su primer elemento el costo asociado a la emisión de n ordenes de pedido y corresponde al costo fijo causado independientemente el tipo o número de productos incluidos en la orden, el segundo elemento en la función responde a los costos causados por la integración a la orden de comprar de los diferentes productos y depende de manera independiente del número de veces que cada producto se integra al pedido del producto más ordenado. El tercer y último componente hace referencia al costo de mantener todas y cada una de las referencias en inventario como producto de la política de inventarios propuesta.

Como ejemplo, considere los datos del ejercicio anterior, donde se tienen 3 productos con diferentes demandas y costos de ordenar. Inicialmente se identifica el producto con mayor frecuencia en las ordenes de pedido:

$$\begin{aligned} t_1 &= \sqrt{((8*65)/2(27 + 12))} = 2,58 \\ t_2 &= \sqrt{((8*940)/2(27 + 15))} = 9,46 \\ t_3 &= \sqrt{((8*880)/2(27 + 16))} = 9 \end{aligned}$$

El producto 2 muestra una mayor frecuencia de pedido ($t_2^* = 9,46$), ahora es necesario estimar la frecuencia con la cual se integrarán los pedidos de los otros dos productos a cada una de las órdenes del producto 2, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} T_1 &= \sqrt{((8*65)/2(12))} = 4,6 \\ T_2 &= \sqrt{((8*880)/2(16))} = 14,8 \end{aligned}$$

Y la frecuencia de pedidos para los productos 1 y 3 con respecto al producto 1 está dada por:

$$r_1 = 9,46 / 4,6 = 2$$

$$r_3 = 9,46 / 14,8 = 0,6$$

Recuerde que se aproxima al entero inmediatamente superior, para este caso $r_3 = 1$.

De esta manera se establece que por cada dos pedidos del producto 1 se deben integrar las unidades requeridas del producto 2, por su parte, la orden del pedido del producto 3 se integrará cada vez que se emita la orden de pedido del producto 2. Finalmente, se calcula el número de pedidos definitivo para el producto 2:

$$n_2^* = ((8*2*65) + (8*1*940) + (8*1*880)) / (27 + 6 + 15 + 16)^{1/2} = 11$$

De esta manera la política de inventarios se resume en la tabla 21.

Tabla 21

Política de inventario agregada

producto	producto 1	producto 2	producto 3
Q	12	86	80
Inventarios de ciclo (Q/2)	6	43	40
Número de pedidos al año (n)	5,5	11	11
Tiempo de flujo promedio (meses)	1,1	0,54	0,54
Costo de mantenimiento	48	344	320

Fuente: elaboración propia.

El costo total para esta política de inventarios reduce el costo con respecto a la política anterior y se calcula como sigue:

$$CT = (11 * 27) + ((5,5 * 12) + (11 * 15) + (11 * 16)) + (48 + 344 + 320) = \$1416$$

La proporción del costo de ordenar de cada uno de los productos con respecto al costo fijo de emitir una orden es determinante para el logro de la reducción del costo total. Chopra (2013) estima que entre más pequeño sea el costo de ordenar individual (K_i), con respecto al costo fijo de emitir una orden de pedido (K), más eficiente resultan las políticas que integran a todos los productos en las ordenes de pedido, de la misma manera a medida que el costo individual crece suele ser más eficiente la integración selectiva de productos a la orden de pedido emitida y, por lo tanto, estos tendrán una frecuencia de pedido distinta.

Programación de suministro en cadenas de suministro global

La disposición actual de las cadenas de suministro en el mundo y la interacción de compañías ubicadas en diversas latitudes exige una dinámica coordinada entre ellas, de manera que se asegure la disponibilidad de recursos en el lugar que el sistema lo requiere en el momento justo y bajo costos razonables. La exposición a riesgos de diversa índole sugiere la posibilidad de interrupción del flujo en la cadena de suministro con las afectaciones que ello implica, de manera que los administradores de la cadena de suministro requieren tomar decisiones sobre el abastecimiento de manera eficaz.

La categorización de recursos (tratada anteriormente) aprovisionados por la compañía, y la definición de políticas de inventarios resultan de utilidad para el decisor, no obstante, el éxito de su aplicación está en función de la demanda estimada de cada uno de los materiales y suministros requeridos. La técnica de previsión de la demanda que asiste la estimación de unidades requeridas por el mercado y que depende única y exclusivamente de este, debe considerar todas aquellas condiciones que inciden en el consumo; en el caso de técnicas fundamentadas en series temporales se suelen incorporar elementos como la tendencia, la aleatoriedad, la ciclicidad y la estacionalidad.

La demanda de productos terminados conocida como demanda “independiente” requiere un análisis preciso a fin de establecer la técnica de pronóstico más adecuada, aunque la incertidumbre caracteriza los mercados internacionales, el propósito del planificador del abastecimiento es utilizar aquella técnica de previsión que reduzca el error de pronóstico, es decir que represente mejor el comportamiento de la demanda o consumo del producto. La desviación del pronóstico sobre las ventas reales provocara que el abastecimiento sea impreciso generando desabasto en algunos momentos o *sobrestock* en otros, ambos casos con consecuencias económicas para la compañía.

En los procesos de planificación del abastecimiento se considera la incidencia del mercado para la estimación de las cantidades a fabricar por unidad de tiempo, sin embargo, todo material e insumo requerido para satisfacer la demanda de unidades terminadas con frecuencia depende del número de unidades a fabricar. Bajo este análisis es posible establecer que, si se trata de una fábrica de bicicletas, la demanda “independiente” se define a través de técnicas de pronóstico que determinarán las cantidades y modelos a fabricar en cada uno de los meses teniendo en cuenta incluso periodos de alta demanda como la época de navidad o periodos estimulados por campañas publicitarias para el incremento del consumo. Por otra parte, se identifica como demanda “dependiente” el requerimiento de cada uno de los componentes para cumplir con la manufactura de las bicicletas pronosticadas y se asocia a la cantidad de bicicletas a fabricar, quiere decir esto que si en un mes se pronostica la venta de 10 bicicletas tipo X, se requieren de manera implícita 10 sillines y 20 ruedas para el mismo tipo de bicicletas y así se estimará las cantidades requeridas para todos y cada uno de los componentes del producto terminado.

El concepto de demanda “independiente” y “dependiente” resulta de gran importancia en contextos actuales donde persiste claramente el fenómeno de la fragmentación de los procesos productivos provocado por la globalización de la economía. La fabricación de componentes en diversas partes del mundo integrados finalmente como partes de un producto terminado resultan practicas comunes en un entorno donde se busca sacar provecho estratégico o económico entre otras motivaciones, de la deslocalización de los procesos de manufactura.

La planificación del suministro entre instalaciones distantes integradas en una cadena de suministro implica determinar el momento oportuno del lanzamiento de órdenes de pedido por las cantidades justas y esto exige conocer con detalle las particularidades logísticas que caracterizan el flujo de materiales a través del mundo. Modos de transporte disponibles, tiempo estimado de transporte principal, transporte local, intercambio modal si existiese y tiempos estimados en terminales portuarios son solo algunas de las variables a conocer para poder emitir a tiempo una orden de pedido, sin embargo el transporte no es el único proceso que consume recursos (tiempo), adicionalmente es necesario establecer los tiempo requeridos para el procesamiento de ordenes por parte del proveedor y todos aquellos intermediarios logísticos que hacen parte de la operación logística.

La relación del proceso de planificación del abastecimiento con los inventarios en una cadena de suministro surge justamente de la incertidumbre relacionada con los tiempos consumidos en los procesos citados en líneas previas, pues el desajuste provocado por la alta dispersión de los tiempos puede acarrear la disrupción de la cadena de suministro, de esta manera los procesos de planificación con frecuencia definen el *stock* de seguridad necesario para absorber la variabilidad

de las operaciones de suministro internacional. Por otra parte, las unidades en existencia en la cadena de suministro se ven afectadas por la rigidez de las políticas de despacho de algunos proveedores, pues en muchas ocasiones no permiten el suministro de cantidades exactas, sino que despachan únicamente tamaños de lotes que obligan al aprovisionamiento de cantidades mayores a las necesarias, alimentando de esta manera los inventarios del cliente.

Planificación de requerimiento de materiales

La planificación de requerimientos de materiales se define como la técnica a través de la cual las compañías sincronizan el abastecimiento de componentes y subensambles costosos a fin de evitar excesos de estos en inventarios y asegurando simultáneamente la disponibilidad de recursos para los recursos para el proceso de ensamble o manufactura. Considera como punto de partida el listado de materiales (*Bill of materials*) y la jerarquía de los mismos en el proceso de ensamble.

La figura 15 muestra la explosión de materiales para un producto terminado (PT) que de acuerdo con este, se compone de 1 unidad de subensamble 1 (SUB₁) y 2 unidades de subensamble 2 (SUB₂). Por su parte el subensamble 1 (SUB₁) se compone de 1 componente 1 (COMP₁) y 3 componentes 2 (COMP₂), el subensamble 2 (SUB₂) se compone de 1 componente 3 (COMP₃) y 2 componentes 4 (COMP₄). En las cadenas de suministro global es posible pensar que cada uno de estos componentes y subensambles se elaboran en factorías dispersas en todo el mundo y a medida que avanzan en el esquema con dirección al producto terminado (PT) se va agregando valor, consideración importante cuando de inventarios se trata pues a mayor valor agregado, mayor costo asociado a su mantenimiento.

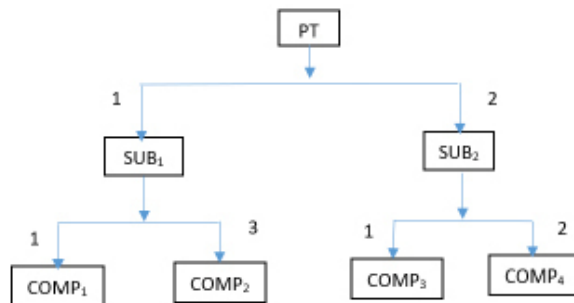


Figura 15. Explosión de materiales. Elaboración propia.

Previo a tratar el proceso de planificación es importante identificar los elementos conceptuales requeridos, pues a partir de ellos se desarrollará la mecánica que exige la metodología:

- *Requerimientos Brutos (RB)*: corresponden a las necesidades demandadas del elemento por unidad de tiempo, en el caso del producto terminado, el requerimiento bruto está determinado por el pronóstico de ventas o el plan maestro de producción y denotan la cantidad de unidades a producir en cada uno de los periodos de tiempo a planificar (semanas, meses, bimestres, etc.). Para el caso de subensambles y componentes, el requerimiento bruto resultara de las unidades ordenadas del elemento del cual depende.
- *Requerimiento Neto (RN)*: corresponde al requerimiento bruto menos las unidades disponibles (ID) y las entregas pendientes (EP).
- *Entregas Pendientes (EP)*: corresponden a aquellas cantidades que llegan en cualquier momento del horizonte de planeación producto de garantías, muestras que envía el proveedor, o simplemente pedidos realizados previamente pero que arriban justamente en el periodo que se está planificando.
- *Inventario Inicial (IO)*: Corresponde a las cantidades existentes al inicio del horizonte de planeación.
- *Inventario Disponible (ID)*: Corresponde al Inventario inicial menos el Stock de seguridad definido para el componente como política de inventario.
- *Ordenes planificadas (OP)*: corresponde al número de unidades a ordenar, asignadas a la unidad de tiempo en la cual deben emitirse considerando el tiempo de respuesta por parte del proveedor una vez recibida la orden de pedido.
- *Ordenes emitidas (OE)*: corresponde a las ordenes planificadas ajustadas al tamaño de lote definido por el proveedor. La orden emitida será igual a la orden planificada en los casos en los cuales el proveedor haya definido una unidad como cantidad mínima de despacho, de lo contrario será necesario pedir tantos lotes como sea necesario para satisfacer tal cantidad requerida durante el periodo.

La información de entrada para el proceso de planificación requiere conocer la política de despacho del proveedor en términos de lotificación del despacho, en algunas situaciones los proveedores despachan en varias presentaciones, en tal caso la orden planeada debe considerar los diferentes tamaños de lote y su combinación debe estar dirigida a la minimización del inventario. Los tiempos de respuesta o Lead Time (LT) como tiempo que transcurre entre la emisión de la orden y la entrega por parte del proveedor debe considerar no solo los tiempos de manufactura de la cantidad solicitada en la orden de pedido, sino también los tiempos de transporte (en cualquiera de sus modalidades o combinación) y todo el tiempo administrativo consumido en el procesamiento de la orden. Finalmente es necesario haber estimado previamente el stock de seguridad (SS) como aquel volumen que de manera permanente debe existir en el almacén y cuyo propósito es absorber la variabilidad de la demanda y de los tiempos de respuesta del proveedor. Consideremos la figura 15 para ejemplificar el proceso de planificación, y las condiciones de inicio se establecen en la tabla 22.

Tabla 22

Condiciones iniciales del sistema

Elemento	Lote	SS	I0	LT (meses)	EP (Cantidad/mes)
PT	1	12	25	1	180/febrero
SUB1	10	5	40	2	100/marzo; 120/abril
SUB2	12	60	0	1	130/abril
COMP1	24	40	12	1	0
COMP2	30	35	10	2	70/febrero
COMP3	12	12	20	2	100/abril; 120/enero
COMP4	15	26	30	2	120/Abril

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse, se presenta en la segunda columna el tamaño del lote definido para la fabricación y/o despacho para el elemento asociado (Columna 1), la tercera columna muestra el stock de seguridad definido para el elemento asociado, la siguiente columna muestra el inventario inicial al comienzo del horizonte de planeación para cada elemento. La quinta columna relaciona el tiempo de respuesta por parte de cada proveedor (LT), en el caso particular del producto terminado (PT) se debe interpretar que las unidades requeridas para el inicio del periodo 1 (Primer día del mes 1) deben empezarse a fabricar (ensamblar) un mes antes, que corresponde al tiempo que tarda en reaccionar

la unidad que ensambla tras una orden de pedido (LT=1), en la última columna se encuentran las entregas pendientes, note que el componente 1 (COMP1) no tiene asociado número alguno en la celda, lo cual indica que para ese elemento no existe entrega pendiente alguna, caso contrario de otros elementos que tienen uno a dos entregas pendientes que afectan el horizonte de planeación. La demanda estimada para PT se muestra en la tabla 23.

Tabla 23

Demanda estimada producto terminado

Demanda proyectada						
Periodo (Mes)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Demanda	15.000	13.500	16.000	12.500	10.800	14.100

Fuente: elaboración propia.

El proceso de planificación comienza estimando las cantidades de producto terminado que realmente requiere la compañía para satisfacer la demanda estimada, de manera que se procede a través de la tabla 24.

Tabla 24

Planificación producto terminado

Producto Terminado (PT)							
Periodo	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
RB		15.000	13.500	16.000	12.500	10.800	14.100
EP			180	0	0	0	0
ID		13	0	0	0	0	0
RN		14.987	13.320	16.000	12.500	10.800	14.100
OP	14.987	13.320	16.000	12.500	10.800	14.100	
OE	14.987	13.320	16.000	12.500	10.800	14.100	

Fuente: elaboración propia.

La primera fila establece el número de unidades requeridas por unidad de tiempo, note que se trata de la transcripción exacta de los requerimientos estimados a través de la proyección de demanda del producto terminado, tal como se mencionó en líneas anteriores, el proceso requiere una información de entrada, quiere decir esto que el decisor no solamente debe verificar los niveles de existencias del elemento, sino también debe verificar los pedidos en curso que afectarán el horizonte de planeación, de esta manera la segunda fila permite

incorporar los pedidos pendientes o cantidades que llegaran en diferentes periodos para satisfacer parcial o totalmente la demanda del periodo, en el caso del producto terminado se evidencia la llegada de 180 unidades terminadas en febrero solamente.

La tercera fila incorpora las unidades terminadas disponibles para la satisfacción inmediata de la demanda y resultan de las unidades encontradas en el almacén al inicio del horizonte de planeación que para el caso son 25 unidades en enero menos las unidades comprometidas por el *stock* de seguridad que para el caso son 12, es importante recordar que el *stock* de seguridad surge como política de inventarios previo análisis de cada elemento, su categorización y valoración de la vulnerabilidad de su suministro. Se concluye la disponibilidad de 13 unidades en enero, ya que se encuentran 25 en almacén, pero es necesario dejar en stock 12 por política de la organización.

Reconociendo que el requerimiento bruto para enero son 15000 unidades, que no existen entregas pendientes para este mes y que se encuentran disponibles solamente 13 unidades terminadas, se establece el requerimiento neto de 14987 que corresponde al número de unidades que deben fabricarse (ensamblarse) para la satisfacción de la demanda de producto terminado en enero, no obstante, el proceso de fabricación (ensamble) tarda 1 mes, quiere decir que el lanzamiento de la orden de fabricación (ensamble) debe emitirse en diciembre si se quiere disponer del producto terminado para el mes de enero, lo cual explica la orden planificada en diciembre por 14.987 unidades y, finalmente, se emite la orden por la misma cantidad en diciembre aprovechando que la unidad que realiza el trabajo lo puede hacer por unidad (no existe lote definido).

El proceso de planificación debe seguir la secuencia sugerida por la figura 15, pues en este se presenta la dependencia de la demanda de los elementos que constituyen el producto final y en ese orden de ideas solo es posible realizar el plan de requerimiento para los elementos SUB_1 o SUB_2 . Para el caso, se presenta en la tabla 25 la planeación de requerimientos del elemento SUB_2 :

Tabla 25

Planificación de requerimientos SUB_2

Subensamble 2 (SUB2)							
Periodo	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
RB		29.974	26.640	32.000	25.000	21.600	28.200
EP						130	
ID		<60>	2	2	6	2	0

RN		30.034	26.638	31.998	24.994	21.468	28.200
OP	30.034	26.638	31.998	24.994	21.468	28.200	
OE	14.987	13.320	16.000	12.500	10.800	14.100	

Fuente: elaboración propia.

Las cantidades demandadas del subensamble 2 durante el horizonte de planeación resultan de duplicar las cantidades requeridas en las ordenes emitidas del producto terminado, esto obedece a que cada una de las unidades terminadas requiere 2 unidades de subensamble 2 y el requerimiento bruto empieza en diciembre pues este el mes en el cual empieza el ensamble de los productos terminados que satisfarán la demanda del mes de enero. Para simplificar el cálculo del requerimiento bruto del subensamble 2 basta entonces con tomar la fila correspondiente a las ordenes emitidas del componente del cual depende la demanda, (en este caso el producto terminado) y multiplicarlo por el número de elementos que requiere para su ensamble o fabricación (en este caso 2), finalmente ubicar el resultado como requerimiento bruto del componente a panear conservando la misma línea de tiempo en la cual se causan las ordenes emitidas tomadas para el cálculo.

El inventario disponible en este caso se presenta negativo pues responde a la ausencia de existencia alguna en el almacén incluso ante un stock de seguridad establecido para el componente de 60 unidades, razón por la cual estas 60 unidades de subensamble 2 deben sumarse al requerimiento del mes (deben ordenarse para cumplir con la política de stock de seguridad), de manera que el requerimiento neto para diciembre resulta de $RB-SS-EP$ o lo que es igual a $29974 - 0 - (-60) = 30034$.

La orden planeada se establece en noviembre por 30034 unidades ya que el *Lead Time* de la instalación que fabrica o ensambla es de un mes, no obstante, no es posible emitir la orden por tal cantidad pues por política de despacho la orden debe emitirse considerando lotes de 12 unidades por lo cual se emite una orden por 30036 que corresponde 2503 lotes de 12 unidades cada uno. Note que se ordenan 2 unidades más de las requeridas de manera que estas unidades estarán disponibles el mes de enero ya que la orden se emite en noviembre las unidades llegan en diciembre y las dos unidades pasan de diciembre a enero en inventario. La dinámica se repite de la misma manera mes a mes hasta completar la emisión de órdenes para el suministro de subcomponente 2, es importante resaltar que las órdenes de compra, fabricación o ensamble van acumulando el *lead time* de cada proveedor, de manera que para lograr la satisfacción de la demanda de producto terminado en el mes de enero es necesario lanzar las ordenes de suministro de subensamble 2 en el mes de noviembre, de lo contrario no llegarán estos últimos a tiempo a la instalación que realiza el ensamble.

Al retomar la figura 15, el proceso de planificación puede avanzar hacia el subensamblable 1, componente 3 o componente 4, note que la planificación del componente 1 y 2 no es posible realizarlos aun ya que el requerimiento de cada uno de ellos depende de la planificación de requerimiento del subensamblable 1 que aún no se ha realizado. De esta manera se procede con la planificación del subensamblable 1 como se muestra en la tabla 26:

Tabla 26

Planificación de requerimientos SUB1

Planificación de requerimientos SUB1								
Periodo	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
RB			14.987	13.320	16.000	12.500	10.800	14.100
EP						100	100	
ID			35	8	8	8	8	8
RN			14.952	13.312	15.992	12.392	10.692	14.092
OP	14.952	13.312	15.992	12.392	10.692	14.092		
OE	14.960	13.320	16.000	12.400	10.700	14.100		

Fuente: elaboración propia.

Para cada unidad terminada se requiere un subensamblable 1, razón por la cual el requerimiento bruto en la tabla 25 corresponde exactamente a las unidades contempladas en las ordenes emitidas de producto terminado. La orden emitida representa el momento en el cual el decisor le solicita a la unidad productiva la elaboración de tantas unidades como se demanden, quiere decir esto que, si se lanza una orden por 14987 unidades de producto terminado en el mes de diciembre, para este mismo mes deben tenerse disponibles 14987 subensamblables 1, lo que explica los requerimientos brutos del subensamblable 1. La tabla 27 muestra la planeación de requerimientos del componente 1:

Tabla 27

Planificación de requerimientos COMPI

Componente 1 (COMPI)							
Periodo	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
RB		14.960	13.320	16.000	12.400	10.700	14.100
EP							
ID		<28>	12	12	20	4	8
RN		14.988	13.308	15.988	12.380	10.696	14.092

OP	14.988	13.308	15.988	12.380	10.696	14.092	
OE	15.000	13.320	16.008	12.384	10.704	14.112	

Fuente: elaboración propia.

El componente 2 de acuerdo con la figura 15 depende de subensamble 1, pero a diferencia del componente 1 en este caso se debe tener en cuenta que por cada subensamble 1 se requieren 3 componentes 2. La planificación de requerimiento del componente 2 se muestra en la tabla 28:

Tabla 28

Planificación de requerimientos COMP2

Componente 2 (COMP2)								
Periodo	Agosto	Septiembre	octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
RB			44.880	39.960	48.000	37.200	32.100	42.300
EP							70	
ID			<25>	5	5	5	5	15
RN			44.905	39.955	47.995	37.195	32.025	42.285
OP	44.905	39.955	47.995	37.195	32.025	42.285		
OE	44.910	39.960	48.000	37.200	32.040	42.300		

Fuente: elaboración propia.

Note que el requerimiento neto para marzo es 42285 unidades y que por ello se emite una orden en enero por 42300, dejando 15 unidades en inventario para abril y que por lo tanto no se muestran en la tabla 27, pero que serán consideradas en el horizonte de planeación siguiente.

La planificación de componente 3 se muestra en la tabla 29.

Tabla 29

Planificación de requerimientos COMP3

Componente 3 (COMP3)								
Periodo	Septiembre	octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
RB			30.036	26.640	32.004	24.996	21.468	28.200
EP					120			100
ID			8	8	8	8	8	8
RN			30.028	26.632	31.876	24.988	21.460	28.092
OP	30.028	26.632	31.876	24.988	21.460	28.092		
OE	30.036	26.640	31.884	24.996	21.468	28.092		

Fuente: elaboración propia

El proceso de planificación concluye con la emisión de órdenes de pedido para el componente 4 tal como se muestra en la tabla 30.

Tabla 30

Planificación de requerimientos COMP4

Componente 4 (COMP4)								
Periodo	Septiembre	octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
RB			60.072	53.280	64.008	49.992	42.936	56.400
EP								120
ID			4	7	7	4	7	1
RN			60.068	53.273	64.001	49.988	42.929	56.279
OP	60.068	53.273	64.001	49.988	42.929	56.279		
OE	60.075	53.280	64.005	49.995	42.930	5.6280		

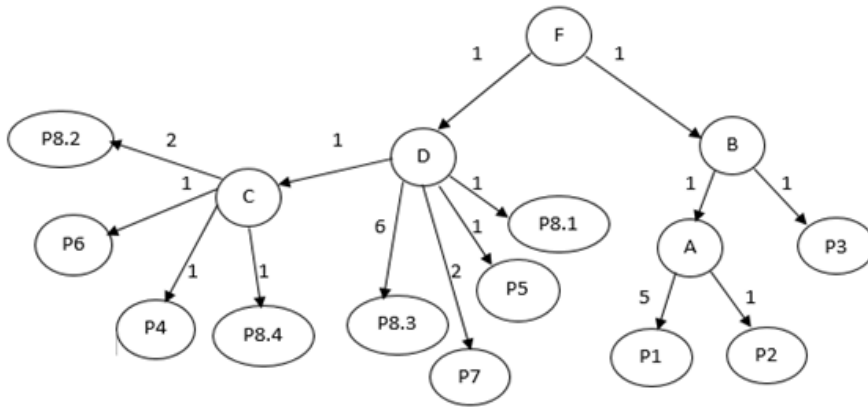
Fuente: elaboración propia.

La planificación del abastecimiento en cadenas de suministro global exige de esta manera la integración en tiempo real de la información asociada a la demanda de cada una de las unidades dedicada a la fabricación o ensamble de los distintos elementos, de manera que se logre la precisión en el lanzamiento de órdenes de pedido, pues de lo contrario como se evidencia, un pequeño retraso en alguna de las ordenes puede provocar el desabastecimiento en las unidades dependientes.

Ejercicios, talleres y actividades

1. Lea detenidamente el caso y desarrolle las actividades propuestas. La empresa SIMtec fabricante de muebles de laboratorio prepara en su planta de producción en la ciudad de Bogotá, la fabricación y ensamble del soporte de instrumentación "TRIP2K". El departamento de producción recibe de su sucursal en Quito (Ecuador) donde ha tenido gran éxito dicho modelo, el instructivo de ensamble y el listado de componentes que requiere el equipo (ver la siguiente figura):

Esquema listado de componentes



El listado de componentes muestra la dependencia de la demanda de componentes y la cantidad requerida de cada uno de ellos en cada una de las fases de ensamble en la cadena de suministro, de tal manera que se deduce que F corresponde al ensamble final del modelo “TRIP2K” y que este ensamble requiere 1 unidad de B y una unidad de D, de la misma manera el componente B requiere para su ensamble una unidad de A y una unidad de P3, así sucesivamente para el resto del esquema. El gerente de la cadena de suministro requiere planificar el abastecimiento de materiales y componentes para satisfacer la demanda proyectada del modelo a fabricar como se expone en la siguiente tabla.

Periodo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Demanda	15.000	13.500	16.000	12.500	10.000	14.000

El origen y condiciones de suministro difiere para cada material y componente tal como se muestra a continuación:

Componente	Lote	Stock seguridad	Lead Time	Inventario inicial	Origen	Entregas pendientes
F (Producto Terminado)	20	20	15 días	10	Local	260/abril
SUB A	10	20	15 días	10	Local	20/mayo
SUB B	15	20	15 días	10	Local	
SUB C	10	25	15 días	15	Local	50/abril
SUB D	16	20	15 días	10	Local	
PARTE 1	100	100	30 días	1	China	
PARTE 2	100	100	30 días	12	China	
PARTE 3	100	100	30 días	23	China	
PARTE 4	100	100	30 días	34	Vancouver	250/ABRIL
PARTE 5	100	100	30 días	45	Vancouver	
PARTE 6	100	100	30 días	56	Vancouver	
PARTE 7	100	100	30 días	33	China	
PARTE 8.1	300	20	15 días	22	Hamburgo	
PARTE 8.2	300	20	15 días	32	Hamburgo	
PARTE 8.3	300	20	15 días	33	Hamburgo	
PARTE 8.4	300	20	30 días	23	China	280/ABRIL

Fuente: elaboración propia.

A partir de la información suministrada determine el plan de requerimiento de materiales y componentes.

2. Suponga que en una compañía el costo de lanzar una orden de pedido independientemente el tipo de producto o su demanda es de \$18, y se comercializan 3 tipos de producto a, b y c cuyas demandas son 18, 1800 y 180 unidades respectivamente, los costos de gestionar la orden de pedido difieren de uno a otro y son 20, 27 y 11 respectivamente. El costo de mantener el inventario es de \$11 por unidad de producto.
 - Calcule de manera independiente la cantidad económica de pedido, frecuencia de pedidos y número de para cada tipo de producto de manera independiente y el costo total asociado a la política establecida. Suponga ahora que se identifica la posibilidad de agrupar los tres productos en una sola orden de pedido. Establezca las políticas de inventario bajo el escenario en el cual en cada orden se incluyen los tres productos y el escenario en el cual se selecciona el tipo de productos que integran cada orden de pedido de acuerdo a su demanda. Establezca el costo de la política para cada escenario.

Referencias

- Anaya, J. (2011). *Logística integral: la gestión operativa de la empresa* (4ta ed.). Madrid: Esic Editorial.
- Christopher, M. (2016). *Logistics and Supply Chain Management* (5th ed.). Londres, Reino Unido: Pearson.
- Chopra, S. y Meindl, M. (2013). *Administración de la cadena de suministro, estrategia, planeación y operación* (5ta ed.). Ciudad de México: Pearson Prentice Hall.
- Mathur, K. y Solow, D. (1996). *Investigación de Operaciones, el arte de la toma de decisiones*. Ciudad de México: Prentice Hall.
- Sheffi, Y. y Rice, J. (2005). A Supply Chain View of the Resilience Enterprise. *MIT Sloan Management Review*, 47, 41-48.
- Soret Los Santos, I. (2006). *Logística y marketing para la distribución comercial*. Madrid: Esic Editorial.