



## Aplicación de los modelos de inventario en la cadena de suministros

### Application of inventory models in the supply chain

Humberto Guerrero Salas <sup>1</sup>

Fecha de Recepción: 26 de julio de 2023

Fecha de Aceptación: 16 de octubre de 2024

**Cómo citar:** Guerrero Salas H. (2024). Aplicación de los modelos de inventario en la cadena de suministros. *Tecnura*, 28(80), xx-xx. <https://doi.org/10.14483/22487638.19292>

## Resumen

**Contexto:** En forma global, el presente artículo trata de la aplicación, de forma combinada, de los modelos de inventario de producción y compra en la operación de la cadena de abastecimientos o suministros, de tal forma que se obtenga un costo total mínimo.

**Método:** Se realiza una revisión bibliográfica de la formulación de los modelos de inventarios de producción y de compra sin déficit; para luego generar la aplicación aunada de dichos modelos a la estructura general de la cadena de suministros.

**Resultados:** Se realiza la aplicación de los modelos de inventarios de forma combinada en la cadena de suministros para obtener un costo total mínimo en la gestión entre el productor y el distribuidor. Esto queda demostrado con la comparación de los costos de forma individual y los costos globales de la propuesta.

**Conclusiones:** La única conclusión que se emana de este documento es el hecho de realizar procesos de optimización de forma integral en toda la cadena de suministros; ya que cuando se optimizan las partes de forma aislada, aunque se generan soluciones óptimas, en la mayoría de los casos no son eficientes para el sistema total.

**Palabras clave:** cadena de suministros, logística, modelos de inventarios.

## Abstract

**Context:** Combine the production and purchase inventory models in the operation of the supply or supply chain in such a way that a minimum total cost is obtained.

**Method:** This paper presents the formulation of the models of production and purchase inventories without deficit; coupled with the overall structure of the supply chain.

**Results:** All the calculations of the application of the inventory models are made to obtain a minimum total cost in the management between the producer and the distributor.

<sup>1</sup>Ingeniero industrial, especialista en Gerencia de Producción, magíster en Ingeniería Industrial. Docente de planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia . Email: [hguerreros@udistrital.edu.co](mailto:hguerreros@udistrital.edu.co)

**Conclusions:** The only conclusion that emanates from this document is without a doubt the fact of carrying out optimization processes in an integral way throughout the supply chain; since when the optimization of the parts is carried out in isolation, although optimal solutions are generated, in most cases they are not efficient for the total system.

**Keywords:** supply chain, logistics, inventory models.

---

## Introducción

Para todo tipo de empresa, sin importar su objeto o razón social, se establece que su objetivo es incrementar las utilidades y, a su vez, minimizar el costo total de la gestión; esto último a través de los modelos de inventarios. Esto da lugar al presente documento; ya que en los libros o textos la optimización de los inventarios se trata de forma independiente en cada modelo, sin tener en cuenta constituyen un contexto global denominado *cadena de suministros*.

Inicialmente, se elabora una revisión del estado del arte, dividida en tres temas: logística, administración de la cadena de suministros y gestión de inventarios. Luego, se implementan los modelos de inventarios en la cadena de suministros para un fabricante (modelo de producción sin déficit) que debe atender las necesidades de un operador logístico (modelo de compra sin déficit) y las de demanda de tres clientes. Por último, se expone la conclusión de los beneficios de la aplicación.

## Fundamento teórico

El marco conceptual tiene su inicio con el desarrollo de la logística desde sus primeros años, la cual surge para consolidar las decisiones operativas de los altos mandos militares, primordialmente en Inglaterra, en la década de 1940 (Carranza, 2005). Allí, se realizan las primeras gestiones de su aplicación, las cuales están muy de la mano con la investigación de operaciones; y cuya estrategia fundamental consistía en evitar avances y ataques de los enemigos. Así, se inicia el perfeccionamiento mediante la conformación de equipos multidisciplinarios. Luego, se realiza un pequeño acercamiento de lo que es la administración y gestión de la cadena de suministros, para aterrizar en los modelos de inventarios; que es el fin último planteado en este documento.

### Logística

#### *Deficiencias de la logística*

A través del avance y utilización de la logística, se persigue minimizar la comisión de errores, ya que el tiempo es relevante. Entre los errores más cometidos en este aspecto se pueden

mencionar los siguientes (Legis, 2009): no informar a tiempo al operador logístico que el despacho de la mercancía llegó al puerto; enviar las mercancías a otros destinos; demoras del contenedor en el puerto; almacenamientos de grandes cantidades en sitios indebidos; inexactitud de los inventarios de la mercancía almacenada, y falta de planeación (Guerrero Salas, 2022).

Para la minimización de estos errores y generar una estrategia competitiva, se deben formular claramente los objetivos y los objetivos, para así determinar flujos y tiempos de las cadenas de distribución. También, hay que tener pleno conocimiento de las normas y planes de capacitación y unas tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) que operen de conformidad con la organización.

Alguns de los interrogantes que debe solucionar una buena gestión logística son: ¿cuándo, dónde y cómo se debe realizar ampliación de las instalaciones: almacenes, equipos, plantas, etc.?; ¿cuál es el programa óptimo de abastecimiento de materiales y materias primas, fabricación y distribución?; ¿qué cantidad de operadores de distribución se requieren?; ¿cuánto cuesta elevar los niveles de atención al cliente?; ¿cuánto inventario necesito para abastecer a los clientes?

La respuesta a estos cuestionamientos está en la gestión y el mejoramiento de las funciones logísticas de las empresas, ya que durante todo el proceso debe existir un control del costo total de las actividades de la empresa. Según Mauleón (2006), se pueden nombrar los siguientes: el costo generado por el inventario que incluye el costo del dinero invertido y su costo oportunidad o financiero; además de agregar la obsolescencia, perdidas por daños y seguros, el costo de bodegaje o mantenimiento (Guerrero, 2017), costos de ordenamiento de pedidos, los costos generados por el transporte, el costo de preparación y embalaje y los costos incurridos por todo el sistema de entrega al cliente final. Además, hay que tener muy en claro que en muchas industrias se trabaja con el costo total por naturaleza; mientras que el operador logístico trabaja con costos unitarios por operaciones (Mauleon, 2006).

### *Diseño de un operador logístico*

Un operador logístico se define como:

aquella organización que diseña, organiza, gestiona y controla los procesos de una o varias etapas de la cadena de suministro como lo es el aprovisionamiento, transporte, almacenaje, distribución, e incluso algunas actividades del proceso de producción, utilizando para ello infraestructuras físicas, tecnológicas y sistemas de información, propios o ajenos. El operador logístico responde ante sus clientes de los servicios suministrados y acordados, y es un interlocutor directo. (Mira, 2006, p. 25)

Entonces, un operador logístico se debe analizar como una red total, integrada por puntos de convergencia denominados *nodos*, o *eventos específicos*, que se interrelacionan. Cada nodo viene a representar las áreas específicas de la empresa como almacenes, plantas de fabricación, centros de venta y las conexiones entre estas que representan transportes a través de los cuales se genera el flujo de los materiales, información o productos. Además, integrada a esta red se deben mencionar todos los actores externos que corresponden a los consumidores y sitios de entrega de productos.

Después de recibir materiales auxiliares y materias primas, el producto es fabricado en diferentes plantas de producción y enviado en diferentes medios de transporte a operadores logísticos o almacenes temporales, en los que, por diferentes medios de transporte, es entregado a los consumidores o sitios de venta. Dentro de este diseño se encuentra implícito el flujo de información referente a necesidades de los clientes, pedidos a proveedores, estadísticas, información de inventario, tiempos de entrega y procesos de contabilidad, entre otros aspectos.

Cuando se ejecuta una gestión asertiva en el diseño de la estructura logística, se pueden obtener los siguientes beneficios: disminución de los costos de distribución, minimización de costos por manejo de inventario, generados por una gestión adecuada de inventarios, y la aplicación de modelos de optimización (Guerrero, 2017) y niveles óptimos de producto terminado en los centros de venta.

## Gestión de la cadena de suministros

El concepto de *gestión de la cadena de abastecimiento* tiene que ver con asegurar la optimización integral de todas las tareas involucradas en las actividades de aprovisionamiento, almacenamiento, producción, organización, planificación, operación e información, mediante una concepción transversal de todos los procesos. Para Collier y Evans (2007), “la administración de la cadena de suministros (SCM) es la administración de todas las actividades que facilitan el cumplimiento de la orden realizada por un cliente de un bien manufacturado con objeto de lograr que el cliente quede satisfecho a un costo razonable” (p. 358).

Este concepto no es nuevo en las tareas logísticas tradicionales, más bien consiste en una modificación del alcance y cobertura del radio de acción de todas las actividades logísticas; la cual integra las cadenas de proveedores y clientes, más las organizaciones de servicios logísticos que intervienen en la cadena logística primaria (Mora, 2008).

Se puede concluir que la gran diferencia con el manejo logístico tradicional es que las funciones de proveedores y clientes se involucran como parte de la administración de la cadena.

Entonces, las empresas deben iniciar un enfoque de administración integral, lo cual es dirigir el enfoque tradicional de todas las funciones concentrándolas en el acertado cumplimiento de los procesos. Durante las décadas anteriores, se volvió cada vez más evidente que las funciones, realizadas con éxito de forma simple, no necesariamente se combinaron para obtener el costo más bajo (Bowersox, 2007). Por consiguiente, esta administración global o integral se centra en el costo de proceso total más mínimo posible.

También, la administración de la cadena de suministros, como logística integral, es la gestión coordinada de todas las actividades operativas de la empresa; por tanto, es necesaria una visión holística del sistema, es decir, asumir el conjunto de procesos como un todo (Soret, 2019). Además, tras evaluar propuestas de otros autores, se percibe que la dirección de la cadena de suministros es solo otro nombre para la dirección integrada de la logística de los negocios (Long, 2012), y que con el paso del tiempo se ha incrementado la amplia cobertura en la administración de todos los suministros.

Para el logro de la administración efectiva de la cadena de suministros se recomienda contar con una red de proveedores eficiente, una red de productores con condiciones de calidad uniformes y una red de distribuidores idónea, aunada a una red de clientes que trabajen en pro de mejorar la calidad, condiciones y características de los productos.

Además, una cadena de abastecimiento o suministro está formada por aquellas partes involucradas, directa o indirectamente, en la satisfacción de las necesidades de un cliente. Por tanto, la cadena de suministro involucra no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportadores, almacenes, vendedores al detalle e incluso al cliente final (Chopra y Meindl, 2015). A continuación, se definen algunos tópicos específicos sobre la administración de la cadena de suministros.

### *Gestión de aprovisionamiento*

Tiene que ver con la adquisición y recepción de materiales y materias primas, que son entregados por los proveedores; se establece la cantidad necesaria, con los requisitos de calidad acordados, en la fecha comprometida y al mejor precio que debe ser adquirida, transportada, manipulada y entregada a la empresa por un sistema de proveedores. Vale la pena mencionar que “el abastecimiento es la fuente de suministro de los bienes de producción que han de integrarse al proceso de composición del bien o servicio, el cual depende de manera intrínseca de las características del bien que se va a producir” (Ballou, 2004, p. 55). Para lograr la estrategia óptima del aprovisionamiento se debe contar con una red de proveedores que garantice condi-

ciones de cuidado al medio ambiente, condiciones de calidad de las materias primas, materiales auxiliares, y plazos de entrega y responsabilidad social.

### ***Gestión de producción***

Consiste en la capacidad de producción y de información necesaria en las formas establecidas por el proceso de fabricación, en la cantidad requerida, con la calidad acordada, en el momento estipulado para la generación de los bienes o servicios.

### ***Gestión de distribución***

Contempla todas las actividades concernientes al canal de información entre la empresa y sus clientes, de manera que se optimice la capacidad de producción de la compañía para competir con tiempos de cumplimiento, servicios y productos, calidad, costos, flexibilidad y credibilidad.

### ***Transporte***

Su gestión óptima debe incluir la selección de los medios de transporte, la cantidad a enviar y el diseño o establecimiento de rutas adecuadas, así como su programación. Debe estar influida por la distancia de los almacenes a los clientes y a las plantas de producción, lo cual, a su vez, determina la correcta ubicación de los almacenes.

Los niveles de satisfacción de los clientes, la ubicación de las instalaciones, el inventario y el transporte de los productos son las principales áreas de la programación y planeación, debido al impacto que estas decisiones tienen sobre las utilidades de la empresa, el flujo de caja y las inversiones futuras. Cada área de decisión se interrelaciona y la estrategia de transporte debe planearse al menos con cierta consideración de equilibrio. ([Ballou, 2004, p. 72](#)).

También,

el objetivo principal de una cadena de suministro es proporcionar a los clientes una respuesta exacta y rápida a sus pedidos al costo más bajo posible. Esto requiere una red de instalaciones estratégicamente ubicadas. Así, las decisiones de ubicación tienen un efecto profundo en el desempeño de la cadena de suministro y en la ventaja competitiva de una empresa. ([Collier y Evans, 2007, p. 47](#))

Con base en lo enunciado, un plan logístico adecuado depende enormemente del método de aprovisionamiento que se emplee para los materiales, materias primas y suministros que se compran; así como del transporte entre las plantas y los almacenes, y de los almacenes al consumidor final. El objetivo de esta aplicación es determinar los transportes óptimos a asignar

de modo que se reduzcan los costos de transporte y las distancias a recorrer entre puntos del canal logístico.

### ***Distribución física***

Para referirse a la definición de distribución física, primero hay que mencionar que es muy difícil para cualquier empresa realizar todo el control de la cadena de abastecimientos, desde la consecución de las materias primas y materiales auxiliares hasta la entrega del producto al consumidor final. Por lo general, el control administrativo acaba con la entrega física del producto y en las rutas físicas de distribución. Entonces, se distinguen claramente dos canales: el canal físico de suministro y el canal físico de distribución; este último hace énfasis en la distribución física:

Canal físico de suministros se refiere a la brecha de tiempo y espacio entre las fuentes inmediatas de material de una empresa y sus puntos de procesamiento. De manera similar, canal físico de distribución se refiere a la brecha de tiempo y espacio entre los puntos de procesamiento de una empresa y sus clientes. (Ballou, 2004, p. 7)

Ahora, según Castellanos Ramírez (2019), la distribución física de mercancías es el conjunto de operaciones necesarias para el desplazamiento de los productos preparados como carga, desde el lugar de producción o manufactura en el país de exportación hasta el local del importador en el país de destino, bajo los conceptos de *óptima calidad*, *costo razonable* y *entrega justo a tiempo*. Según el mismo autor, se trata de “transportar el producto adecuado en la cantidad requerida al lugar acordado y al menor costo total para satisfacer las necesidades del consumidor en el mercado internacional justo a tiempo (JAT) y con la calidad total (CT)” (Castellanos Ramírez, 2019, p. 12). Además, la distribución clausura el conjunto de estructuras al suministrar los mecanismos de empalme entre el abastecimiento y la manufactura; es decir, que la gestión de los procesos logísticos en su estructura tiene el comportamiento de cíclicos e interdependientes.

### ***Servicio al cliente***

Tal como lo menciona Ballou (2004), el servicio al cliente es el proceso de cumplir a cabalidad con el pedido de un cliente. Esto incluye recibir el pedido (ya sea manual o electrónicamente), administrar el pago, recolectar y empacar los productos, enviar el paquete, entregarlo y proporcionar el servicio al cliente para el usuario final; así como manejar de la mejor manera la devolución de los productos. El servicio al cliente, *grosso modo*, parte de una orden o colocación de la venta, seguida de la información pertinente del pedido al departamento de producción, evaluación del proceso en que se encuentra el pedido dentro de la compañía (rastreo y localización), y embalaje y programación para la entrega. Además, como lo manifiestan Lamb et al.

(2011), la mayoría de las empresas reconocen que es necesario desarrollar medidas únicas para su estrategia, propuestas de valor y un mercado objetivo.

### ***Sistema de información***

El sistema de información para la administración de la red logística tiene que ver con la recolección y manipulación de los datos de una empresa, tendientes a ayudar a la mejor toma de decisiones (tanto estratégicas como operativas) en todos sus departamentos, y primordialmente facilitar todo tipo de operaciones del negocio o empresa.

El sistema logístico de información se debe dividir en dos partes (Ballou, 2004): el de información interna y el de información externa. En el primero se maneja la información de las finanzas, *marketing*, logística, manufactura y compras; en el externo se involucran los clientes, proveedores, transportadores y socios de la cadena de suministros.

Además, se debe tener en cuenta la información del sistema de control de pedidos que involucra la disponibilidad de inventarios, productos asignados a algunos clientes y cumplimiento, sistema de gestión de almacenes, el cual debe involucrar el manejo de inventarios, selección de pedidos, rutas de los operadores y estimación de disponibilidad de producto; y el sistema de gestión de transportes desde donde se consolida el pedido, se seleccionan los modos, quejas, monitoreo, pago de la factura y auditoría de la factura del transporte.

### ***Coordinación en la cadena de suministros***

Una buena coordinación entre producción, mercadeo, compras y todas las demás instancias no debe enfatizarse en exceso. A menudo las interrelaciones entre estas se presentan a un nivel que la optimización de una actividad de forma individual puede implicar un perjuicio de una o de muchas de las otras actividades realizadas. En relación con la optimización de cada subsistema independiente de una red logística se observa que su nivel de desarrollo es muy alto, en cuanto a los operativos y teóricos tratados, los cuales pueden aplicarse en el contexto de las organizaciones; además, una buena gerencia en la cadena de suministros puede no solo disminuir los costos, sino también obtener un incremento en las ventas.

### **Gestión de inventarios**

En la cadena de abastecimiento o suministro, la gestión de inventarios tiene que ver con la determinación de las cantidades óptimas necesarias que garanticen el flujo físico equilibrado a lo largo de los procesos de transformación, aprovisionamiento y distribución, para lo cual se atienden las condiciones generadas por la variabilidad e incertidumbre de un sistema dinámico y que garantice la máxima satisfacción del cliente. En este sentido, existen diversos modelos de

inventarios (Guerrero, 2017); dependiendo del tipo de artículo y tipo de demanda, entre otras características.

Además, la administración de los inventarios son técnicas usadas para ayudar a los gerentes a determinar cuándo deben reabastecerse los actuales inventarios y cuánto deben ordenarse (Mathur y Solow, 2009).

### ***Inventario***

Consiste en una cantidad de bienes o materiales mantenidos durante un tiempo en un estado inactivo en espera de su uso o un conjunto de bienes que se almacenan para posteriormente venderlos o utilizarlos (Martin *et al.*, 2005). Con base en esto se puede afirmar que los inventarios son productos o bienes que se mantienen en estado de ocio hasta el momento en que se les requiera.

### ***Funciones básicas de los inventarios***

La función básica de los inventarios es la de satisfacer una demanda o requerimiento de un cliente en un momento determinado. El cliente puede ser un consumidor o una etapa de un proceso de producción. Entre estas funciones básicas hay que tener en cuenta que debe protegerse el desarrollo continuo de producción, ya que una falta de algún artículo generaría una parada de la planta; lo que puede resultar costoso para la organización.

### ***Costos causados en un modelo de inventarios***

En términos generales, los costos involucrados en un modelo de inventarios son los siguientes:

- *Costo de mantenimiento.* Se genera en el momento que se da bodegaje, arriendo o almacenamiento de un determinado artículo o producto; y dentro de él pueden involucrarse el costo del dinero invertido o lucro cesante, el de arrendamiento o almacenaje, los salarios del personal de vigilancia, entre otros.
- *Costo de penalización.* Se produce cuando cliente pide un servicio o producto, y la empresa no lo tiene; en otras palabras, es el costo asociado a la pérdida de oportunidad por la no satisfacción de las necesidades del cliente.
- *Costo fijo o por ordenar.* Se establece cuando se saca una orden de producción o de compra. Se llama fijo, porque no depende de la cantidad pedida o fabricada.

- *Costo variable*. Corresponde al de cada unidad producida (cuando el artículo es fabricado en una planta de producción) o sencillamente el costo de cada producto (cuando el artículo es comprado).

### ***Clasificación de los modelos de inventarios***

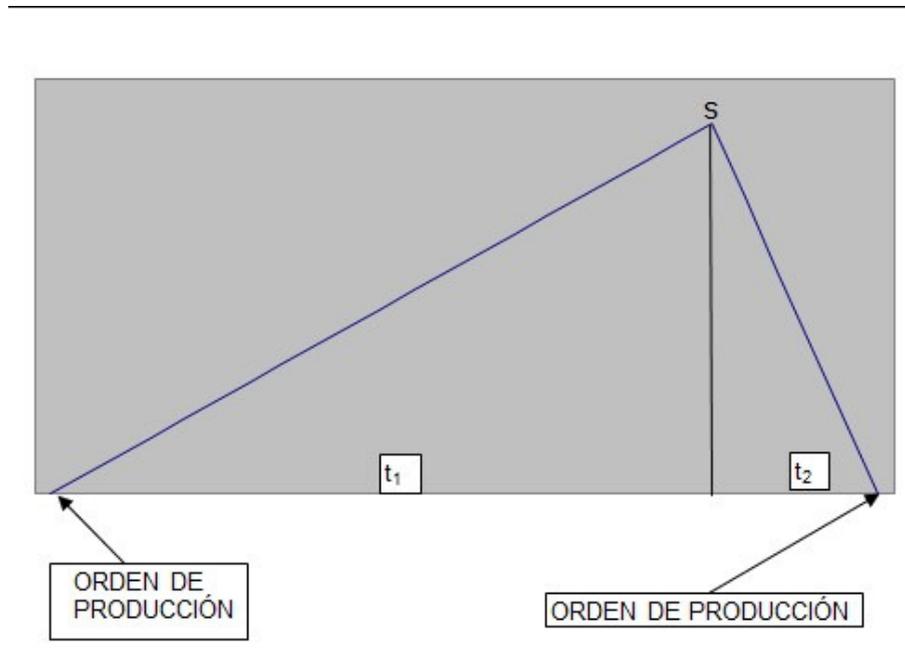
Los modelos de inventarios tienen una clasificación general que depende del tipo de demanda que presente el artículo o producto evaluado. Si el artículo tiene demanda determinística, entonces el modelo de inventarios es determinístico; mientras que, si presenta una demanda probabilística, el modelo de inventarios es probabilístico o estocástico. Generalmente, se considera que un artículo tiene demanda determinística únicamente cuando se trabaja bajo pedido.

Luego de que un producto es clasificado en un modelo de inventarios, ya sea determinístico o estocástico, viene la clasificación específica que depende de características especiales y de manejo del producto (Prawda, 1994), entre las cuales se pueden mencionar las siguientes: tipo de reposición, cantidad de productos, cantidad de periodos, con o sin déficit, etc. A continuación, se describen los dos modelos básicos que se van a aplicar en el presente documento. Para una mayor profundidad en diferentes modelos de inventario, puede consultarse a Guerrero (2017).

### ***Modelo de producción sin déficit***

Este modelo de inventarios determinísticos supone que la demanda se conoce con anterioridad; por tanto, ocurre a un ritmo constante, la capacidad de producción es conocida y también ocurre a una tasa constante, la capacidad de producción debe ser mayor a la tasa de demanda; los costos variables, de mantenimiento y fijos deben ser conocidos y constantes; y por último, no se permite demanda diferida.

La estructura del modelo se inicia con cero unidades en almacenaje, se coloca una orden de producción en ese momento y esta se completa en  $t_1$  unidades de tiempo; en este tiempo se produce a razón de  $k$  unidades por unidad de tiempo, y se consume a razón de  $r$  unidades por unidad de tiempo, y al final de dicho tiempo quedan  $S$  (inventario máximo) unidades en el almacén. En el momento en que se llega al nivel de inventario máximo, se suspende la producción, y durante un tiempo de  $t_2$  unidades de tiempo solo se satisface la demanda, es por eso que al final de este tiempo se encuentra nuevamente en el nivel nulo de inventario. Entonces, se coloca una nueva orden de producción. Esto se realiza tantas veces como sea necesario para completar el pedido total del cliente. En la figura 1 se ilustra la estructura de un ciclo del inventario para dicho modelo.



**Figura 1.** Estructura general del modelo de producción sin déficit

Las fórmulas correspondientes a este modelo se describen y se explican de la siguiente manera: inicialmente se realiza una orden de producción por  $Q$  unidades (ecuación 4) las cuales se producen en una cantidad de  $t_1$  unidades de tiempo (ecuación 1), tiempo en el cual se llega al inventario máximo o superávit (ecuación 3). Este superávit se consume en exactamente  $t_2$  unidades de tiempo (ecuación 2):

$$t_1 = \frac{rt_2}{k - r} \quad (1)$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{2C_o(1 - r/k)}{rC_m}} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{2rC_o(1 - r/k)}{C_m}} \quad (3)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2rC_o}{C_m(1 - r/k)}} \quad (4)$$

Según la estrategia óptima, el costo total promedio (en este caso el de mantenimiento más el costo por ordenar) por unidad de tiempo se calcula con base en la ecuación 5, y el costo total (incluye el variable) se calcula empleando la ecuación 6:

$$Ct = \sqrt{2rC_mC_o(1 - r/k)} \quad (5)$$

$$CT = Ct + Cv(r) \quad (6)$$

$$N = \frac{R}{Q} \quad (7)$$

Este mismo costo total promedio por unidad de tiempo puede calcularse sumándole el costo por ordenar al resultado que arroje la ecuación 9. El resultado de esta fórmula se divide la cantidad de unidades de tiempo de ciclo (ecuación 10). Para calcular las unidades mantenidas por ciclo se debe emplear la ecuación 8:

$$UMC = \frac{(t_1 + t_2)S}{2} \quad (8)$$

Si se desea establecer cuántas veces hay que repetir el ciclo para satisfacer el pedido del cliente ( $R$  unidades demandadas en un periodo determinado de tiempo), se debe utilizar la ecuación 7:

$$CMC = \frac{C_m(t_1 + t_2)S}{2} \quad (9)$$

El tiempo del ciclo del inventario para este modelo se calcula sumando los tiempos involucrados. Para este caso, es con la ecuación 10:

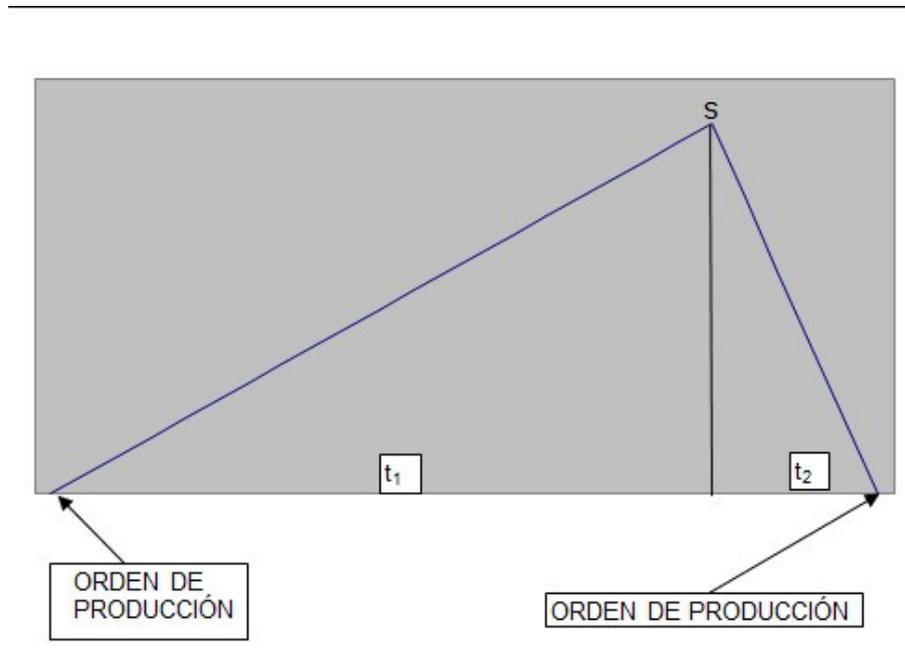
$$Tc = t_1 + t_2 \quad (10)$$

### ***Modelo de compra sin déficit***

En los modelos de compra existe la suposición de que el artículo no será producido, sino que será adquirido a un proveedor, en cuyo caso la empresa operará como distribuidor de un determinado producto. Este modelo es conocido en algunos textos como el CEP (cantidad económica de pedido), EOQ (*economic order quantity*) o simplemente como el modelo de *dientes de sierra*, como se ilustra en la figura 3.

Para garantizar la funcionalidad del modelo, se supone que la demanda del producto se conoce bajo certeza y ocurre a una tasa constante, los costos variables, el costo de mantenimiento y el costo fijo o por ordenar deben ser constantes y conocidos, no se permite demanda diferida al futuro y todas las unidades que van al almacén se supone que es de forma instantánea.

El modelo supone que se inicia con cero unidades en almacenamiento, que se coloca una orden de compra en ese momento y que dicha cantidad incrementa el inventario automáticamente (se llega de una sola vez al inventario máximo o superávit); luego, el producto se consume de forma constante a razón de  $r$  unidades por cada unidad de tiempo, hasta llegar al nivel nulo de inventario (se consume todo el inventario). En ese instante de tiempo se coloca una nueva orden de compra, la cual sube el inventario de nuevo al nivel de superávit. Así se repite el ciclo hasta completar la demanda total del cliente. En la figura 2 se ilustra la estructura básica para este modelo.



**Figura 2.** Estructura general del modelo de compra sin déficit

Es este modelo, se realiza un pedido de  $Q$  unidades (ecuación 13), las cuales se supone que llegan instantáneamente, por lo cual el inventario llega a el nivel máximo o superávit (ecuación 12). El inventario máximo se consume en exactamente  $t_2$  unidades de tiempo (ecuación 11), y al final de este tiempo se realiza una nueva compra de  $Q$  unidades. Esto se repite la cantidad de veces que sea necesaria (número de ciclos calculado con la ecuación 16) hasta completar el pedido total del cliente establecido en  $R$  unidades en el periodo establecido:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2C_o}{rC_m}} \quad (11)$$

$$S = \sqrt{\frac{2rC_o}{C_m}} \quad (12)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2rC_o}{C_m}} \quad (13)$$

El costo total promedio por unidad de tiempo se calcula con base en la ecuación 14, y el costo total se establece con la ecuación 15:

$$Ct = \sqrt{2rC_mC_o} \quad (14)$$

$$CT = Ct + Cv(r) \quad (15)$$

El número total de unidades que causan costo de mantenimiento en un ciclo del inventario se establecen utilizando la fórmula 16 y el costo de mantenimiento de estas unidades en

almacén mediante la utilización de la fórmula 18.

$$N = \frac{R}{Q} \quad (16)$$

$$UMC = \frac{t_2 S}{2} \quad (17)$$

$$Cmc = \frac{C_m t_2 S}{2} \quad (18)$$

Para el modelo de compra con déficit, el tiempo de un ciclo del inventario es exactamente el tiempo 2 ( $t_2$ ). Esto se puede observar en la ecuación 19:

$$T_C = t_2 \quad (19)$$

Para calcular el costo total óptimo en cualquier unidad de tiempo, también se puede utilizar la ecuación 20, la cual debe generar el mismo resultado de la ecuación 15:

$$CT = C_v(R) + C_o \left( \frac{R}{Q} \right) + C_m \left( \frac{Q}{2} \right) \quad (20)$$

## Aplicación

### Estructura general

Para la aplicación de los modelos de inventario en el presente documento, como se observa en la figura 3, la estructura de la propuesta considera un fabricante que debe satisfacer la demanda del operador logístico, y este debe satisfacer la demanda de los tres clientes.

### Los clientes

La información estipulada para los clientes es una demanda total de 72 000 unidades por año, los cuales están discriminadas en que el cliente 1 demanda 18 000 unidades en el año; el cliente 2 demanda 28 800 unidades en el año, y el cliente 3 demanda 25 200 unidades en el año. Esto quiere decir que la demanda diaria de cada cliente es de 50, 80 y 70 unidades, respectivamente (se considera un año de 360 días).

### El operador logístico

Una vez reconocidas las necesidades de cada cliente, esto se convierte en los pedidos que le realizan al operador logístico, para lo cual se establece una demanda total en el periodo (un año) de 72 000. Esto equivale a una demanda diaria de 200 unidades. Además, se va a suponer que el costo que se genera por guardar una unidad en el almacén es COP 100 por día y que el costo que se causa por colocar una orden de compra o pedido es COP 640 000. También, se

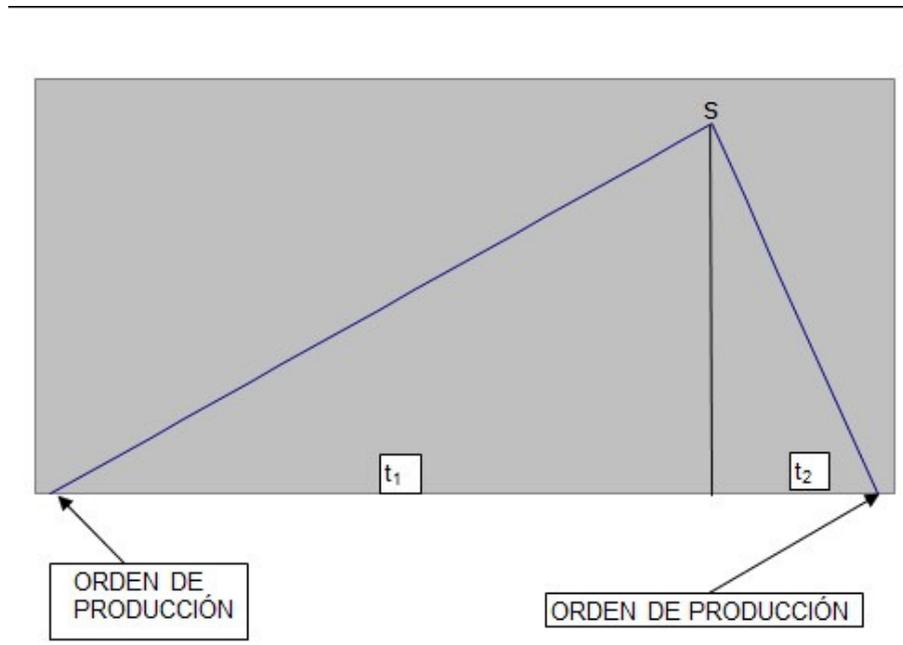


Figura 3. Estructura general de la propuesta

supondrá que el fabricante cobrará COP 750 por cada unidad que le venda o entregue al operador logístico.

Con base en la información suministrada se obtiene lo siguiente:

- Demanda total del período:  $R = 72\,000$  unidades/año.
- Demanda diaria:  $r = 200$  unidades/día.
- Costo por ordenar una compra:  $C_o = \text{COP } 640.000$ .
- Costo de adquisición por unidad:  $C_v = \text{COP } 750/\text{unidad}$ .
- Costo unitario de mantenimiento:  $C_m = \text{COP } 100$  unidad/día.

Con base en esta información, se observa que el operador logístico cumple funciones de distribuidor; esto es, le compra producto al fabricante para venderle posteriormente a los tres clientes considerados. Por tanto, para el operador logístico se debe utilizar el modelo de compra sin déficit, descrito en las secciones anteriores.

Mediante la utilización de las ecuaciones 11 a 20 se obtienen los siguientes resultados:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2C_o}{rC_m}} = \sqrt{\frac{2(640\,000)}{200(100)}} = 8 \text{ días}$$

$$S = \sqrt{\frac{2rC_o}{C_m}} = \sqrt{\frac{2(200)(640\ 000)}{100}} = 1600 \text{ unidades}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2rC_o}{C_m}} = \sqrt{\frac{2(200)(640\ 000)}{100}} = 1.600 \text{ unidades}$$

$$Ct = \sqrt{2rC_mC_o} = \sqrt{2rC_mC_o} = \text{COP } 160\ 000/\text{día}$$

$$CT = Ct + Cv(r) = 160\ 000 + 750(200) = \text{COP } 310.000/\text{día}$$

$$N = \frac{R}{Q} = \frac{72\ 000}{1600} = 45 \text{ ciclos}$$

$$UMC = \frac{t_2S}{2} = \frac{8(1600)}{2} = 6.400 \text{ unidades}$$

$$Cmc = \frac{C_mt_2S}{2} = \frac{100(8)(1600)}{2} = \$640.000 \text{ por ciclo}$$

$$T_c = t_2 = 8 \text{ días}$$

$$CT = C_v(R) + C_o \left( \frac{R}{Q} \right) + C_m \left( \frac{Q}{2} \right)$$

$$CT = 750(200) + 640\ 000 \left( \frac{200}{1600} \right) + 100 \left( \frac{1600}{2} \right) = \text{COP } 310.000/\text{día}$$

De acuerdo con los resultados, el operador logístico debe realizar un pedido de 1600 unidades al productor; lo cual se supone que incrementa el inventario en esa cantidad de forma instantánea (figura 4). Luego el operador logístico espera 8 días en los cuales los clientes consumen a razón de 200 unidades por día (50 unidades del cliente 1; 80 unidades del cliente 2, y 70 unidades del cliente 3). Al finalizar los 8 días, el operador logístico llega al nivel cero de

inventario; por lo cual realiza otro pedido de las mismas 1600 unidades. Esto se debe repetir durante 45 ciclos en el año para cubrir la demanda de 72 000 unidades en el año.

Con base en esta estrategia para el operador logístico, se genera un costo total promedio de COP 160 000 por día, COP 1 280 000 en el ciclo o COP 57 600 000 por año.

Incluyendo lo que el fabricante le cobra al operador logístico por cada unidad (costo variable) el costo total generado es COP 310 000 por día, COP 2 480 000 por ciclo o COP 111 600 000 por año. Se observa que la cantidad de unidades mantenidas en un ciclo son 6400, lo que genera un costo de mantenimiento por ciclo de COP 640 000.

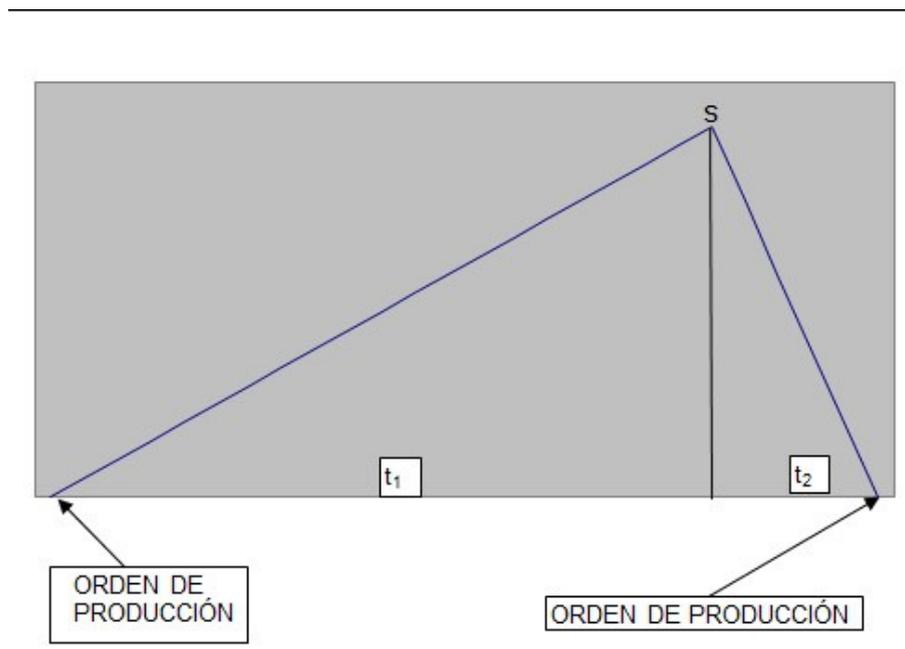


Figura 4. Estructura del modelo de compra sin déficit para el operador logístico

## El fabricante

Como el operador logístico requiere de 72 000 unidades en el año, esta se convierte también en la demanda del productor o fabricante. Por consiguiente, la demanda diaria para el fabricante también es de 200 unidades.

La información de costos que se dispone del fabricante es que cuesta COP 150 guardar una unidad en su almacén, generar una orden de producción cuesta COP 2 304 000 y cada unidad producida cuesta COP 520. Además, se sabe que la planta de producción tiene capacidad para producir 500 unidades por día.

Con base en esta información se obtiene lo siguiente:

Demanda total del período:	$R = 72\,000$ unidades/año.
Demanda diaria:	$r = 200$ unidades/día.
Tasa de producción diaria:	$k = 500$ unidades/día.
Costo por ordenar un lote de producción:	$C_o = \text{COP } 2\,304\,000$ .
Costo de producción por unidad:	$C_v = \text{COP } 520/\text{unidad}$ .
Costo unitario de mantenimiento:	$C_m = \text{COP } 150$ unidad/día.

De acuerdo con esta información, el fabricante debe aplicar un modelo de producción sin déficit. Utilizando las ecuaciones 1 a 10, se obtiene lo siguiente:

$$t_1 = \frac{rt_2}{k-r} = \frac{200(9,60)}{500-200} = 6,40 \text{ días}$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{2C_o(1-r/k)}{rC_m}} = \sqrt{\frac{2(2\,340\,000)(1-200/500)}{200(150)}} = 9,60 \text{ días}$$

$$S = \sqrt{\frac{2rC_o(1-r/k)}{C_m}} = \sqrt{\frac{2(200)(2\,340\,000)(1-200/500)}{150}} = 1920 \text{ unidades}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2rC_o}{C_m(1-r/k)}} = \sqrt{\frac{2(200)(2\,340\,000)}{150(1-200/500)}} = 3200 \text{ unidades}$$

$$Ct = \sqrt{2rC_mC_o(1-r/k)} = \sqrt{2(200)(150)(2\,340\,000)(1-200/500)} = \text{COP } 288\,000/\text{día}$$

$$CT = Ct + Cv(r) = 288\,000 + 520(200) = \text{COP } 392\,000/\text{día}$$

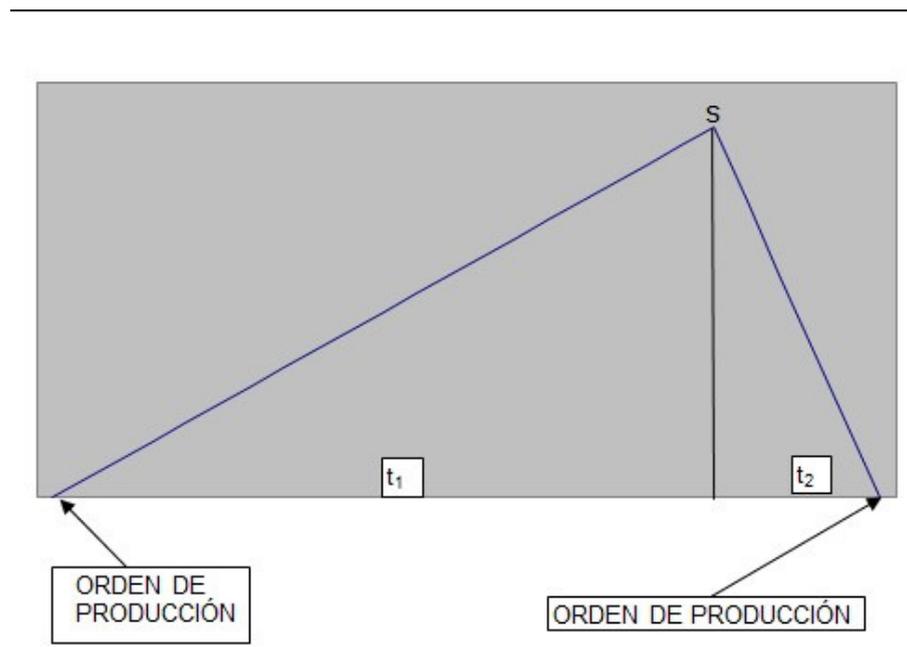
$$N = \frac{R}{Q} = \frac{72\,000}{3200} = 22,5 \text{ ciclos}$$

$$UMC = \frac{(t_1 + t_2)S}{2} = \frac{(6,40 + 9,60)(1920)}{2} = 15\,360 \text{ unidades}$$

$$CMC = \frac{C_m(t_1 + t_2)S}{2} = \frac{150(6,40 + 9,60)(1920)}{2} = \text{COP } 2\,304\,000/\text{ciclo}$$

$$T_c = t_1 + t_2 = 6,40 + 9,60 = 16 \text{ días}$$

Como se ilustra en la figura 5, el productor debe realizar una orden de producción de 3200 unidades, las cuales se producen en 6,4 días a razón de 500 unidades por día. Se supone que durante este tiempo el productor le está entregando producto al operador logístico a razón de 200 unidades por día. Por esto, el productor por cada día que transcurre debe enviar 300 unidades al almacén, por lo cual al final de dicho tiempo se genera el inventario máximo de 1920 unidades. Transcurridos los 6,4 días, el productor debe suspender la producción y esperar 9,6 días en que el operador logístico le consume a razón de 200 unidades diarias. Al final de este tiempo se coloca una nueva orden de producción del mismo tamaño y repite esto por un total de 22,5 ciclos.



**Figura 5.** Estructura del modelo de producción sin déficit para el fabricante

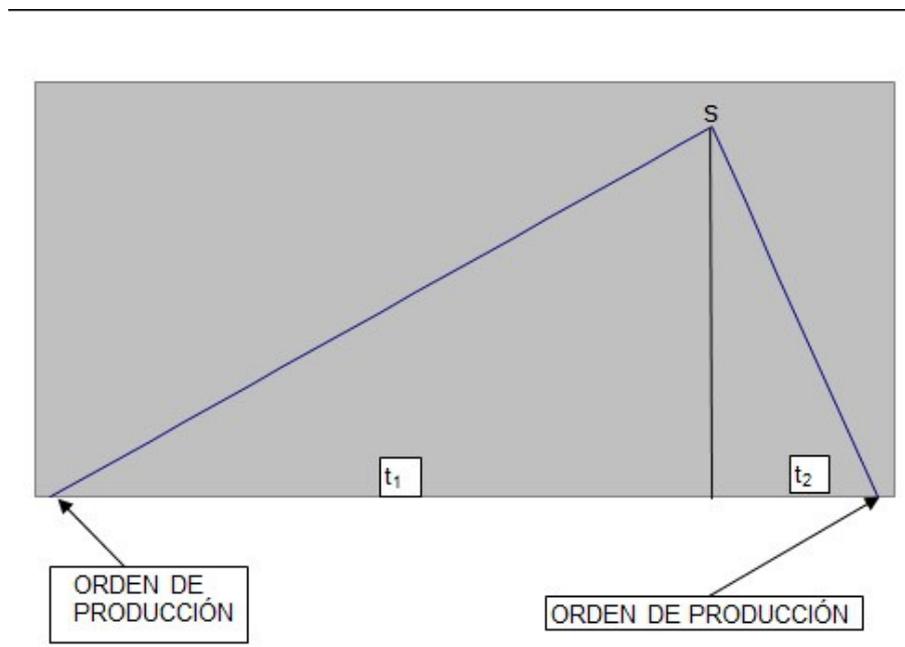
Llevar esta estrategia le cuesta al productor un total promedio (incluye el costo de mantenimiento y el fijo) de COP 288 000 por día, COP 4 608 000 por ciclo o lo que es equivalente a COP 103 680 000 por año.

El costo total (incluye el costo de producción de cada unidad) generado asciende a COP 392 000 diarios, COP 6 272 000 por ciclo o COP 141 120 000 por año.

Además, el número calculado de unidades mantenidas en un ciclo de inventario son 15 360; lo que genera un costo total de mantenimiento en el ciclo de COP 2 304 000.

### Negociación entre fabricante y operador logístico

En la sección “El operador logístico” se estudió y se generó la situación óptima del operador logístico, sin tener en cuenta las condiciones de los clientes ni las formas de producción y entregas por parte del fabricante; en el apartado “El fabricante” se evaluó la condición óptima de producción e inventarios para el fabricante sin tener en cuenta las condiciones de sus proveedores ni los aspectos de entrega por parte del operador logístico. Esta situación realmente no es así, ya que como se observa en la figura 4, el operador logístico está suponiendo que le llega un pedido de 1600 unidades de parte del fabricante, para suplir la demanda de sus clientes durante 8 días, a razón de 200 unidades por día; mientras que con base en la figura 6, el fabricante produce 500 unidades y de ellas le entrega 200 unidades por día al operador logístico y almacena 300 unidades hasta generar el inventario de 1920 unidades. Además, este inventario también se le entrega al operador logístico a razón de 200 unidades diarias, lo cual supone que el fabricante está entregando a razón de 200 unidades por día al operador logístico durante todo el horizonte de planeación (para este caso es un año).



**Figura 6.** Estructura de la forma de producción y entregas para el fabricante

Todo lo anterior significa que, mínimo, debe haber una negociación de entregas entre el fabricante y el operador logístico, entre los proveedores y el fabricante, y entre el operador logístico y los clientes. En este documento solamente se analiza la situación de entregas entre el fabricante y el operador logístico.

Supóngase que el operador logístico necesita entregas de 1600 unidades cada 8 días (figura 4). Esto indica que el fabricante debe cambiar su estrategia teniendo en cuenta que su producción se regirá con base en lo que indica la figura 6, de la cual se explican los siguientes aspectos:

- La fábrica seguirá produciendo su artículo a razón de 500 unidades por día.
- Sin dañar el lote óptimo de producción, el fabricante seguirá sacando órdenes de producción por 3200 unidades que se terminan en un tiempo de 6,4 días.
- En la figura 6, hay dos tiempos de 3,2 días, pero esto no indica que el lote se produzca en dos tandas, sino que simplemente se acumula el inventario que requiere el operador logístico (lotes de 1600 unidades) y se le envían de forma instantánea. Por esto que en ese mismo instante de tiempo el inventario del fabricante baja a cero (se realiza la primera entrega al operador logístico); pero continúa su producción de la primera orden, la cual se completa cuando acumula nuevamente el inventario de 1600 unidades. El tiempo de fabricación de este lote de 3200 unidades es de 6,4 días, igual que como se indica en la figura 5.
- Cuando se termina de producir la primera orden de producción, el fabricante debe detener la producción y en este instante el inventario nuevamente está en 1600 unidades; pero en ese momento no se le puede entregar al operador logístico, ya que no han pasado los 8 días después de la primera entrega. Por esto, el fabricante debe guardar en inventario a partir de este momento y durante 4,8 días una cantidad de 1600 unidades.
- Pasados estos 4,8 días, ya han pasado exactamente los 8 días establecidos desde la primera entrega, por lo cual se procede a enviar las 1600 unidades al operador logístico. Esto es lo que en la figura 5 se ha denominado *segunda entrega al operador logístico*.
- Luego de esta segunda entrega, el fabricante ha quedado con nivel cero de inventario y debe esperar 4,8 días en esa situación para colocar la siguiente orden de producción de 3200 unidades. A partir de este momento, se repite el ciclo 22,5 veces hasta completar las 72 000 unidades.

El análisis de costos para esta estrategia del fabricante se detalla a continuación:

El cálculo de las unidades mantenidas por ciclo se realiza con base en las áreas de los dos triángulos y el rectángulo donde hay inventario así:

En el triángulo A, se tiene una base de 3,2 y una altura de 1600; lo que genera 2560 unidades mantenidas.

El triángulo B tiene las mismas dimensiones del triángulo A; por tanto, las unidades mantenidas por ciclos son 2560.

El rectángulo C tiene una base 4,8 y una altura de 1600; lo que genera 7680 unidades mantenidas.

Sumando las unidades mantenidas de los tres ítems anteriores, da un total de 12 800 unidades mantenidas en un ciclo.

Obsérvese que el número de ciclos del inventario se mantiene igual que en la situación óptima del fabricante: es un total de 22,5 ciclos.

El costo de mantenimiento por ciclo se establece multiplicando el total de unidades mantenidas por el costo unitario de mantenimiento:  $12\ 800 \times \text{COP } 150 = \text{COP } 1\ 920\ 000$ .

El costo fijo por ciclo se mantiene en COP 2 304 000.

El costo variable de producción se establece a través de la multiplicación del costo unitario de producción por la cantidad óptima a producir por ciclo:  $\text{COP } 520 \times 3200 = \text{COP } 1\ 664\ 000$ . Por tanto, la sumatoria de costos totales por ciclo es COP 5 888 000. Este valor incluye los costos de mantenimiento, fijo y de producción.

Multiplicando el costo total por ciclo por la cantidad de ciclos (22,5 ciclos) se obtiene un costo total de COP 132 480 000 por año.

Por último, si se divide el costo total por año por la cantidad de días considerados en el horizonte de planeación (360 días), se genera un costo total de COP 368 000 por día.

Recuérdese que el costo calculado para el fabricante en la sección “El fabricante” dio COP 392 000 por día; lo cual significa que con la estrategia de entregas al operador logístico se obtiene una reducción en el costo de COP 24 000 por día.

Esto se registra en la reducción de las unidades a mantener, las cuales se bajan al no guardar inventario, sino que se realizan entregas instantáneas de 1600 unidades cada 8 días.

## Conclusiones

La única conclusión que se emana de este documento es el hecho de realizar procesos de optimización de forma integral en toda la cadena de suministros; ya que cuando se optimizan las partes de forma aislada, aunque se generan soluciones óptimas, en la mayoría de los casos no son eficientes para el sistema total.

## Referencias

- Ballou, R. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. Pearson.
- Bowersox, D. (2007). *Administración y logística en la cadena de suministros*. McGraw-Hill.
- Carranza, O. (2005). *Logística. Mejores prácticas en Latinoamérica*. Editorial Thomson.
- Castellanos Ramírez, A. (2019). *Manual de gestión logística del transporte y distribución de mercancías*. Ediciones Uninorte.
- Chopra, S. y Meindl, P. (2015). *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación*. Pearson.
- Collier, D. y Evans, J. (2007). *Administración de operaciones*. Cengage.
- Guerrero, H. (2017). *Inventarios, manejo y control*. ECOE ediciones.
- Guerrero Salas, H. (2022). Ubicación de un operador logístico para varios periodos de un horizonte de planeación mediante programación lineal. *Tecnura*, 26(74), 165-189. <https://doi.org/10.14483/22487638.19290>
- Lamb, C., Hair, J. y Daniel, C. (2011). *Marketing*. (8.<sup>a</sup> ed.). Thomson.
- Legis. (dic.-abr. de 2009). *Suplemento de logística*.
- Long, D. (2012). *Logística internacional, administración de la cadena de abastecimiento global*. Limusa Noriega Editores.
- Martin, Q., Santos, M. T. y Paz Santana, Y. (2005). *Investigación operativa*. Pearson.
- Mathur, K. y Solow, D. (2009). *Investigación de operaciones*. Prentice Hall.
- Mauleon, M. (2006). *Logística y costos*. Editorial Díaz de Santos.
- Mira, A. (2006). *Operadores logísticos*. Marge Books.
- Mora, L. (2008). *Gestión logística integral*. ECOE ediciones.
- Prawda, J. (1994). *Métodos y modelos de investigación de operaciones*. (Vol. II. Modelos estocásticos). Editorial Limusa.
- Soret, I. (2019). *Logística y marketing para la distribución comercial*. ESIC.

