

SISTEMA DE COORDINACIÓN DE INVENTARIO MULTIPRODUCTO, APOYADO EN LA ESTRATEGIA DE ÉPOCAS COMUNES DE RESURTIDO, CASO APLICADO A UNA EMPRESA DE CONFECCIÓN AL NORTE DE BOGOTÁ

INVENTORY SYSTEM COORDINATION OF MULTIPLE PRODUCTS, SUPPORTED IN STRATEGY COMMON REPLENISHMENT EPOCHS, APPLIED TO A BUSINESS CASE FOR MAKING THE NORTH OF BOGOTA

Luz Amparo, Morales Pulido

Ingeniera Industrial, Estudiante de Especialización en Gerencia de Logística Integral de la UMNG, Asesora Dian, People Contact S.A. Bogotá, Colombia,
luz_m_oa@hotmail.com

Ginna Lucia, Torres Prado

Administradora de Empresas, Estudiante de Especialización en Gerencia de Logística Integral de la UMNG, Representante comercial, Imporinox S.A. Bogotá, Colombia,
ginalu99@hotmail.com

Especializado Oscar, Palacio León

Ingeniero, M.Sc., Docente Investigador de la Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia,
oscar.palacio@unimilitar.edu.co

RESUMEN

El presente artículo trata el desarrollo de un sistema de coordinación de inventarios, para un único proveedor, con múltiples clientes, que administra la demanda independiente determinista, aplicando la estrategia de épocas comunes de resurtidos enfocada a la logística de salida (fabricante – clientes). Se seleccionó como caso de aplicación una empresa líder del sector de confección tomando como fuente de análisis la línea “Medico Asistencial” en la ciudad de Bogotá, con el fin de evidenciar las posibles ventajas competitivas de su aplicación, respecto a la disminución de costos, economías de escala y relaciones sostenibles entre cliente – proveedor.

Palabras clave: Multi-producto, logística de salida, hibridación de modelos, coordinación, Épocas comunes de resurtido.

ABSTRACT

The present article treats the development of a system of inventor coordination, for the only supplier, with multiple clients, that there administers an independent demand determinist applying the strategy of common epochs of reassortmentsfocused on the logistics of exit (manufacturer - clients). It is selected as case of application a leading company of the sector of confection taking as a source of analysis the line "Welfare Doctor" in the city of Bogota, in order to supply the possible competitive advantages with regard to the decrease of costs, to achieve economies on a large scale and sustainable relations between client - supplier.

Key words: Multi-product, outbound logistics, model hybridization, coordination, Common Replenishment Epochs.

INTRODUCCIÓN

Considerando los avances dentro y alrededor de la industria manufacturera, se puede afirmar que hoy día existe gran cantidad de modelos basados en la coordinación de inventarios, cada uno dirigido a una situación particular con diferentes niveles de complejidad; el modelo básico más conocido es el modelo EOQ (Economic Order Quantity), desarrollado por Ford Harris en 1913; sin embargo con el paso del tiempo ha sido necesario considerar modelos que se adecuen a distintas situaciones de inventarios, en este caso se analizará el modelo dirigido desde un proveedor para múltiples clientes, fundamental en el desarrollo del estudio para la hibridación deseada al caso real.

Tratando de acercarnos a lo que realmente ocurre en la industria, se trabaja bajo supuestos en donde una de ellos es considerar una demanda conocida y variable con el tiempo. José Elías Jiménez Sánchez (Investigador titular del IMT, y catedrático de la Universidad Autónoma del Estado de México) en su tesis "*coordinación de inventarios en una cadena de suministro del sector automotriz a través de épocas comunes de resurtido, y el uso de diversos modos de transporte*" establece las bondades de la estrategia en un panorama de un proveedor, múltiples clientes y multiproducto con una demanda determinista y variable, por tanto se toma como guía para el desarrollo de este modelo.

El presente documento se divide así: en primer lugar se hace la introducción a las ventajas y optimización que lleva el desarrollo de un manejo de inventarios organizado y formulado con el objetivo de llegar a la eficiencia y productividad, sobre el tema ambiental y tecnológico. Tema clave en el ambiente industrial y el desarrollo sostenible dentro de nuestra economía. Inmediatamente después se describen algunos conceptos básicos intervenidos en la investigación, haciendo un pequeño recuento de cada tema, los autores referenciados y las diferentes aplicaciones que se encuentran en cada teoría. Dentro de la metodología de desarrollo se mencionan las estrategias más comunes plateadas por Jiménez (2005) aplicadas para coordinar inventarios. Cada una de ellas tiene un objetivo y propósito específico que en trabajo de campo ejercen circunstancias diferentes. Una vez revisadas una por una se escoge una sola, que será la deseada para aplicar en esta investigación.

Para poder cumplir el objetivo de mostrar una coordinación de inventarios dentro de una cadena gobernada por un proveedor, donde finaliza con múltiples clientes y en el desarrollo de ella se mueven múltiples productos, se hace necesario realizar una hibridación de modelos, lo que implica hacerlo por fases ya que las circunstancias hacen complejas la modelación única. Dentro de la metodología de trabajo se inicia con un breve recuento sobre la fuerza del tema en la investigación de operaciones y su reseña histórica, luego se describe el modelo que permite trabajar una estrategia donde la condición principal es multiproducto. Continuando con la segunda fase se muestra el impacto del modelo que determina los requisitos de distribución de

planificación, más conocido como DRP y en la tercera fase se encuentra el modelo que determina la cantidad económica de pedido o EOQ.

Luego de la hibridación en los modelos que abordan el manejo de inventarios se aplica la estrategia escogida llamada Épocas comunes de resurtido (por sus siglas en inglés ECR), en la cual se establece una política de descuento para los productos sobre el precio para el comprador, compensando el ahorro que se obtiene al utilizar la estrategia; la estrategia gira en torno a una simulación de teoría de juegos en donde el proveedor actúa como líder del juego y los clientes como seguidores. El diseño matemático a seguir bajo esta estrategia, se enfoca en el desarrollado por Viswanathan y Piplani (2001) siguiendo el mismo planteamiento hecho por Jimenez, permitiéndole darle viabilidad al modelo planteado.

Finalmente se muestra las posibles fortalezas que la estrategia ECR puede brindar a la empresa escogida como caso de estudio.

1. METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Una vez desarrollado todo el sistema, aunque no latente pero si importante, existe un impacto que genera el planteamiento del modelo y es el ahorro de energía. Tema importante dentro del desarrollo sostenible en la industria, ya que durante siglos ha sido una lucha contra la degradación del entorno. Las políticas ambientales implementadas en Colombia están asociadas en la generación de energía donde la mayoría de los problemas ambientales están relacionados con un deficiente manejo de los recursos energéticos. Especialmente en el sector industrial para un manejo eficiente de la energía se debe tener en cuenta algunos factores como las redes de distribución, los contadores, alimentadores y tableros de distribución, los conductores, los motores e instalaciones internas, los procesos industriales y el mantenimiento, entre otros [1].

En nuestro caso particular, sección de confecciones, la idea de hacer un uso eficiente del recurso de energía vincula el transporte, ya que al adoptar la estrategia planteada, se elimina el uso de combustible por tiempos de entrega. Sin dejar un lado el tema del papeleo y la tecnología de punta o sistemas de iluminación, que sin afectar la eficiencia en el desarrollo del trabajo, se consumirán con una cantidad mínima de energía.

Por otro lado se hace mención sobre el poco sacrificio que hacen las empresas en sostener el medio ambiente. Se menciona que todos los años la industria y las empresas intentan aumentar su producción y sus beneficios con costos enormes para el medio ambiente, acciones como talar los bosques, la destrucción de hábitats, los peligros para las especies animales, entre otros. [1]

Está claro que cada país maneja sus acuerdos y leyes respecto al medio ambiente y el desarrollo sostenible, pero la estrategia aun las empresas no la tienen clara. Lo importante es hacer que la industria se exija a si misma haciendo programaciones de una manera eficiente y que el impacto ante las decisiones de la política económica sea mínima. En la página web de la Red de Desarrollo Sostenible de Colombia se puede observar el planteamiento no solo de acuerdos, si no de políticas y leyes que se han establecido para poder regir con el sistema. Este linck describe los tres planes de desarrollo que se han expedido en la década de los noventa. Como es

normal, a cada sector de la economía le rigen diferentes decretos competitivos para la eficiencia del uso de los recursos [2].

Pero por políticas internas de algunas empresas en el mundo, lo anteriormente dicho no se cumplió y los problemas ambientales se estaban convirtiendo en un fuerte sin control. Fue cuando se vio la necesidad de hacer integrado los componentes ambientales, los diferentes entes gubernamentales y la cumbre de Rio aprueba el documento llamado "Agenda 21", surgido del Plan de Acción de las Naciones Unidas para un Desarrollo Sostenible en el siglo XXI, como lo muestra claramente el sitio web de las naciones unidas.

Este documento implica abordar programas de actuación para la aplicación práctica a escala local basándose en la premisa: Piensa globalmente y actúa localmente. Dicho plan se basa en los siguientes principios:

a) Desarrollo social y económico, b) Gestión adecuada de los recursos para el desarrollo, c) Fortalecimiento de la participación ciudadana, d) Metodologías y modos de ejecución e implantación

Agenda 21 se puede visualizar como una herramienta para lograr que la industria de un país genere resultados factibles, eficientes y medibles a corto plazo. Con lo anterior y consientes que los recursos naturales no son ilimitados, la estrategia adecuada para lograr un plan de desarrollo sostenible eficiente es administrar los recursos y tomar buenas decisiones encaminadas a las políticas ambientales [3], [4].

CONCEPTOS BÁSICOS

Cadena de suministro: La cadena de suministro es un sistema donde se interrelaciona varias etapas de la producción para un producto o servicio. En nuestro caso de estudio, para que un uniforme llegue al cliente final, la tela pasa por diversas etapas, desde que se solicita como materia prima hasta que el cliente final lo tiene puesto, así pues todo el proceso y sub procesos son etapas dentro de la cadena de suministro.

La gestión de la cadena de suministro es la administración de las actividades que transforman materias primas en productos intermedios y/o productos finales, hasta llegar al cliente final. Para la mayoría de las empresas, la gestión de la cadena de suministro requiere del funcionamiento de una red de fabricación y distribución que a menudo están dispersos en todo el mundo. Las actividades de la cadena de suministro implican desde la compra, fabricación, logística, distribución y transporte para la comercialización, hablando de las más generales [5].

Para que todo este proceso funcione y de un resultado organizacional es indispensable un factor llamado: *demanda*. La demanda es la que genera el movimiento de toda la cadena y una rentabilidad económica a la empresa. En nuestro caso de estudio la demanda es conocida y variable. Aunque en la vida real la demanda es un tema de alta inestabilidad, sobre ella ejerce fuerza diversos factores tanto internos como externos y en ocasiones se puede conocer pero en otras es un tema de incertidumbre. Aun en sectores dentro de la industria donde se exija un producto innovado, hay diferentes indicadores del modelo de demanda e inestabilidad dentro de los pronósticos. Es importante tener en cuenta que no solo aspectos internos a la compañía, si no, circunstancias del ambiente externo pueden

llegar a mover y a forzar cambios a través de los eslabones de la cadena de suministros. Como lo menciona Chopra (2004) típicamente la demanda es la más confiable durante la etapa de madurez del ciclo de vida del producto, resaltando que los cambios de la demanda pueden ser observados durante toda la cadena [6].

Es importante que el lector entienda que este tema es clave dentro del trabajo de investigación. El modelo inicia con una propuesta de inventario DRP el cual se va fusionando con otros modelos, ya que no se habla de un solo producto ni de un solo cliente. Al hacer híbrido el modelo los puntos de la cadena de suministro se sensibilizan y la demanda puede llegar a causar una transformación.

Tanto la percepción de la estacionalidad de la demanda y el error de predicción puede aumentar a medida que se avanza aguas arriba en la cadena de suministro. Este fenómeno se conoce como *efecto látigo*. Una pequeña variación o fluctuación estacional de la demanda real del consumidor puede estallar el látigo para los proveedores de materias primas, haciendo que se alternen entre la sobreproducción y las situaciones de tiempo de inactividad. [7]

El efecto látigo es consecuencia de información distorsionada de un extremo de la cadena al otro; puede dar lugar a tremendas ineficiencias: la inversión en inventarios excesivos, mal servicio al cliente, la pérdida de ingresos, planes equivocados capacidad de transporte ineficaz, y se perdió los programas de producción [8].

El efecto sugiere que la variabilidad de las órdenes aumenta a medida que avanzamos aguas arriba en la cadena de suministro al por menor de la fabricación. En una cadena de suministro, aunque las ventas de los consumidores no parecen variar mucho, hay mucha variabilidad en los pedidos del minorista al mayorista [9].

Al otro lado de la cadena cuando se menciona la gestión de flujo de materiales e información, se está haciendo referencia a la logística de reversa, de manera eficiente con un costo razonable, con la finalidad de realizar un reprocesamiento, reciclaje, reutilización o disposición final, recuperando total o parcialmente su valor, disminuyendo el impacto medioambiental.

Leif Enarsson considera que la logística de reversa es un área importante tanto para la raza humana como para el desarrollo de la sociedad, cubre todas las cuestiones básicas relacionadas con los residuos, las leyes y normas, cargas e impuestos, distintos tipos de residuos, medio ambiente marcado, clasificación, almacenamiento e impacto ambiental [10].

Inventario: La administración de un inventario es regido por la política que se desea manejar respecto a los tiempos, cantidades, costos de pedidos, entre otros.

Al formular una política del inventario, deben considerarse las relaciones específicas de éste. La administración debe comprender estas relaciones para determinar la política del inventario acerca de cuándo hacer y cuanto incluir en un pedido, haciendo que la política del inventario dirija el desempeño deseado. Los dos indicadores importantes del desempeño del inventario son el nivel de servicio y el inventario promedio [11].

Al referirse a una empresa manufacturera el sistema de producción es normalmente determinado por la cantidad de inventario de materia prima, pero si es una empresa comercializadora el inventario rige las ventas y si por el contrario es una empresa

prestadora de servicios, es el inventario de recursos quien define el indicador de desempeño de la misma. Como se observa, el inventario es un tema clave dentro de toda compañía; por ello las empresas invierten tecnología de punta y paquetes de sistema para hacer de este un funcionamiento eficiente. Como se mencionó, en la introducción, esta investigación busca la forma de modelar un sistema para que los inventarios y la empresa tengan un alto poder competitivo.

1.1. ESTRATEGIAS PLANTEADAS

Como ya se menciona, en la industria existen diferentes estrategias de coordinación, teniendo en cuenta el objetivo y las bases de esta investigación solo nos enfocamos en las estrategias de coordinación para la gestión de inventarios. Las estrategias más usuales, según Jiménez (2005), son nueve:

1) Estrategia de desarrollo conjunto de ordenes (DCO), 2) Estrategia justo a tiempo (Just in Time), 3) Respuesta rápida (QR), 4) Estrategia de reaprovisionamiento eficiente (ER), 5) Reaprovisionamiento continuo (CR), 6) Planeación, pronostico y reabastecimiento colaborativo (CPFR), 7) Inventario administrado por el proveedor (VMI), 8) Estrategia gestión de disponibilidad por el proveedor (SMA), y 9) Estrategia épocas comunes de resurtido (CRE)

Una vez analizados los diferentes tipos de estrategias se escoge la de Épocas Comunes de Resurtido (conocida por sus siglas en ingles como ECR). Esta estrategia sugiere que el cliente acepta la propuesta de colocar órdenes en tiempos equidistantes a cambio de un descuento en el precio de los productos. En caso de que algunos clientes emplean este tipo de prácticas, y se están abasteciendo en periodos fijos, evidentemente aceptarán la estrategia sin mayor problema dado la ventaja del descuento. El planteamiento de los modelos coordinados parten de la idea de que en la estrategia ECR, el proveedor tiene pleno conocimiento de las operaciones de su cliente; por tanto, le permite planear su producción, períodos de entrega, y tamaño del lote que le produce un ahorro[12].

En el concepto de la cadena de suministro, muchas empresas se dan cuenta de que el inventario se puede gestionar eficazmente a través de la colaboración y coordinación. Una coordinación es la iniciativa de épocas comunes de reposición (CRE) como estrategia. Bajo la estrategia de la CRE, un vendedor que distribuye productos de muchos fabricantes, se especifica que las órdenes de reposición sólo pueden fijarse en lugares específicos en el tiempo. Al adoptar esta estrategia, el proveedor es capaz de consolidar varios pedidos de reposición. Así, el procesamiento de pedidos y gastos de envío se puede reducir [13].

Por otro lado debido al entorno competitivo actual las industrias han tomado la decisión de reducir su portafolio de proveedores y hacer que el escogido o los pocos escogidos entreguen mayores cantidades y mayores variedades. Para que esa teoría se aplique correctamente debe existir un contrato a largo plazo para cada materia prima requerida en cuanto a costos y un acuerdo en cuanto a entregas, similar a lo planteado con la estrategia escogida [14].

1.2. HIBRIDACIÓN MODELOS

Como lo menciona Taha en su libro, las primeras actividades formales de investigación de operaciones se dieron en Inglaterra durante la Segunda Guerra Mundial, cuando se encomendó a un equipo de científicos ingleses la toma de decisiones acerca de la mejor utilización de materiales bélicos. Al término de la guerra las ideas formuladas en operaciones militares fueron adaptadas para mejorar la eficiencia y la productividad en el sector civil. Por esa es historia y todos los resultados eficientes arrojados en la época, hoy en día la investigación de operaciones se considera una herramienta dominante para tomar decisiones, basado en modelos matemáticos, es importante aclarar que cada problema maneja su modelo y este su solución, dependiendo de la complejidad y la clase del mismo [15].

La investigación de operaciones se aplica a los problemas que afectan la forma de dirigir y coordinar las operaciones (es decir, las actividades) dentro de una organización. La naturaleza de la organización es esencialmente inmaterial, y, de hecho, se ha aplicado extensamente en áreas tan diversas como la fabricación, transporte, construcción, telecomunicaciones, planificación financiera, cuidado de la salud, los militares y los servicios públicos, por nombrar sólo algunos [16].

Las empresas necesitan soluciones ante sus problemas con los inventarios. Eso es un tema crucial e importante que es abordado dentro de la investigación de operaciones y varios métodos cuantitativos ofrecen alternativas de estudio para las mismas. La optimización está en la selección de la mejor alternativa, para ello la operación de los modelos consiste en recolectar datos, analizarlos, desarrollar el modelo que de la solución más eficiente, y redactar las recomendaciones que lleven a una acción de mejora.

Los inventarios no solo abarcan el tema de materia prima, también son de productos en proceso y en muchas ocasiones de producto terminado. El inventario es un tema que ha hecho investigar a la industria, invertir en sistemas operativos y capacitaciones constantes. Es un tema que cuesta. Pues todo inventario lleva amarrado un costo, claro está, no solo uno, este se convierte en plural y se derivan en variables continuas dependiendo del caso, como puede ser, costo de mantener, costo de ordenar, costo de envió, etc.

Todo modelo de inventario crea innumerables interrogantes para una organización, para nuestro caso especial, hay uno importante y es saber que tanta cantidad y cuando se realizan los pedidos de materia prima. Para responder a esta inquietud hay que estudiar y analizar una serie de variables, como son: la demanda, el stock y el precio, entre otras. Entendiendo lo anterior, una empresa cualquiera, dentro del sector económico, se hace más eficiente y rentable si sabe cuándo y cuánto pedir.

En esta investigación, la metodología a usar es evaluando varios modelos y se procederá a hacer una hibridación entre ellos para conseguir el modelo óptimo para nuestro caso de estudio, en el cual interviene un proveedor, múltiples clientes con múltiples productos. Una vez tengamos el modelo a correr, se le aplica la estrategia escogida para nuestro trabajo.

Si ya se habló del papel importante que ejerce los componentes de la investigación de operaciones, es necesario, antes de las fases en la hibridación del modelo,

introducir el problema de coordinación de la política de orden y la política de producción, lo que indica la presencia de un comprador y un proveedor. Pues son estos dos lados los que hace que todo el modelo tenga movimiento, sentido y resultado. Se sabe que existe política individual para el cliente, política individual para el proveedor y la política conjunta de coordinación entre cliente y proveedor. Esta última es la que aplica a esta investigación y da la introducción para la hibridación del modelo [17].

En la figura No. 1 se observa como el tamaño de lote corresponde a la cantidad entregada si un proveedor sigue una producción lote por lote. Para el cliente la cantidad ordena corresponde a la cantidad entregada. Si esto ocurre, una solución conjunta del tamaño de lote corresponde a la cantidad ordenada ($Q_B = Q_V$). Dando como resultados los ciclos de inventario [18].

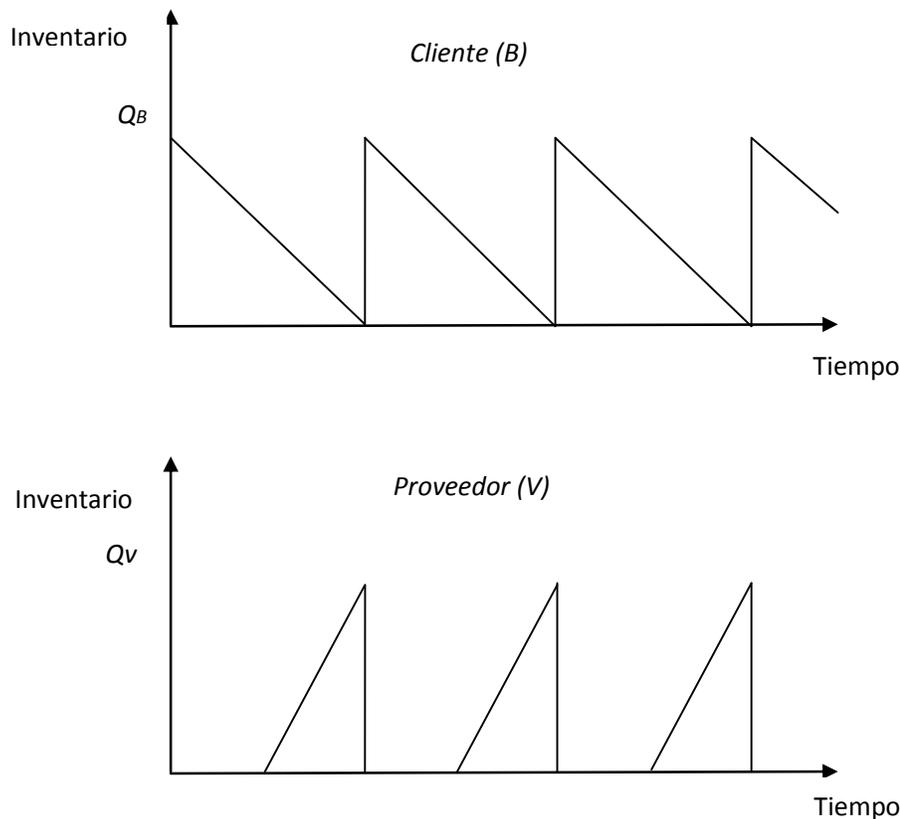


Figura 1: Ciclo de inventario conjunto cliente-proveedor
Fuente: Silver y Meal (1973)

Para el inicio de la hibridación se trabajó bajo la condición de multiproducto. Los procesos de producción intermitente requieren que un número de productos compartan el mismo equipo sobre una ruta básica. Los productos se hacen a menudo en un ciclo regular en lotes predeterminados. La longitud total del ciclo de producción es el tiempo para producir una secuencia completa de los productos. La duración del ciclo óptimo se establece como un grupo de familias de los ítems en

lugar de cada producto independientemente de los demás. El uso de la cantidad económica de producción (EOQ) de cada producto en el grupo implica que el equipo estará disponible cuando es necesario. A menos que el equipo esté muy subutilizado, puede haber problemas de programación y dificultades para cumplir con los requisitos de la cantidad económica de producción de un solo ítem. Por lo tanto, el problema de planificación de productos múltiples podría resolverse mediante la determinación del número anual de ciclos (m) que minimiza el costo total de toda la familia de ítems. La lógica de múltiples ítems es similar a la de un solo ítem [19].

El inventario máximo de un determinado ítem i es $(p_i - r_i)t_{pi}$, y el inventario promedio es la mitad de esta cantidad. Con m, como el número de ciclos (ciclos de producción) por año $Q_i = p_i t_{pi} = R_i/m$. Si hay n ítems, el inventario promedio de un determinado ítem i es el siguiente [19]:

$$\frac{(p_i - r_i)t_{pi}}{2} = \frac{(p_i - r_i)R_i}{2mp_i} \tag{1}$$

Si el abastecimiento no es permitido, el costo total anual es dado por la siguiente ecuación:

Costo total anual = Costo de la producción + Costo de pedir + costo de conservar (2)

$$TC(m) = \sum_{i=1}^n P_i R_i + m \sum_{i=1}^n C_i + \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^n \frac{H_i R_i (p_i - r_i)}{p_i} \tag{3}$$

Tc= Costo Total

n = Número total del orden conjunta de ítems

R_i = Demanda anual para el ítem i en unidades.

P_i = Costo de producción por unidad del ítem i.

p_i = Tasa de producción del ítem i.

r_i = Tasa de demanda del ítem i.

C_i = Costo de pedir el ítem i por corrida de producción.

H_i = Costo de conservar el ítem i por unidades/año.

Cuando $n=1$, el sistema reduce la ecuación para un solo producto EPQ con $m=R/Q$. Para obtener el número mínimo de corridas por año, se toma la primera derivada del costo total anual con respecto al número de corridas de producción e igualamos a cero:

$$\frac{dTC(m)}{dm} = \sum_{i=1}^n C_i - \frac{1}{2m^2} \sum_{i=1}^n \frac{H_i R_i (p_i - r_i)}{p_i} = 0 \tag{4}$$

Resolviendo la ecuación para m, el óptimo número de corridas por año es:

$$m^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \frac{H_i R_i (p_i - r_i)}{p_i}}{2 \sum_{i=1}^n C_i}} \quad (5)$$

El tamaño de la corrida de producción para un producto i es determinado por la siguiente fórmula:

$$Q_i = \frac{R_i}{m^*} \quad (6)$$

Reemplazando m en la fórmula del costo total por m^* , se obtiene la siguiente fórmula del mínimo costo total:

$$TC(m^*) = \sum_{i=1}^n P_i R_i + \frac{1}{m^*} \sum_{i=1}^n \frac{H_i R_i (p_i - r_i)}{p_i} = \sum_{i=1}^n P_i R_i + 2m^* \sum_{i=1}^n C_i \quad (7)$$

El número óptimo de corridas por año (m^*) ignora las condiciones de capacidad. Éste asume que hay suficiente capacidad disponible para enfrentar la demanda. El modelo es apropiado sólo si el número de días laborales por año es igual o excede el tiempo anual de la demanda:

$$N \geq \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{p_i} \quad (8)$$

Cuando el número anual de días requeridos (tiempo de la demanda) excede el número anual de días laborales (capacidad), entonces la capacidad de producción no es suficiente para enfrentar la demanda de todos los productos. Por lo tanto, debe contemplarse un método alternativo como tiempo extra, subcontratar mano de obra, etc.).

El modelo de múltiples ítems también asume que el tiempo de preparación es insignificante o hay suficiente tiempo disponible en cada corrida (ciclo) para acomodar la producción. El tiempo de la corrida de cada ciclo debe ser igual o exceder el tiempo de la corrida combinada para cada ítem [19]:

$$\frac{N}{m^*} \geq \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{p_i} \quad (9)$$

Continuando con la hibridación encontramos el modelo DRP: Requisitos de Distribución de Planificación, como segunda fase a aplicar.

DRP es el método de planificación más sofisticado, que considera varias etapas de distribución y características únicas. Es la extensión lógica de la fabricación de Planificación de necesidades (MRP), aunque hay una diferencia fundamental entre

las dos técnicas. MRP es impulsado por un programa de producción que se define y controla la política de gestión. Por otro lado, DRP es impulsado por la demanda de los clientes. Así, mientras que MRP opera generalmente en una situación de demanda dependiente, DRP opera en un entorno de demanda independiente. DRP asume la responsabilidad de coordinación una vez los productos terminados son recibidos en la planta almacén.

La herramienta fundamental la planificación de DRP es el horario que coordina las necesidades de todo el horizonte de planificación. Hay un horario para cada SKU en cada almacén. Los horarios de la misma referencia se integran para determinar los requisitos generales para las instalaciones de reposición, como un almacén de la planta. También se dice que el DRP es un programa para determinar la cantidad de existencias en un centro de distribución de las necesidades de sus clientes para mantener stock [20].

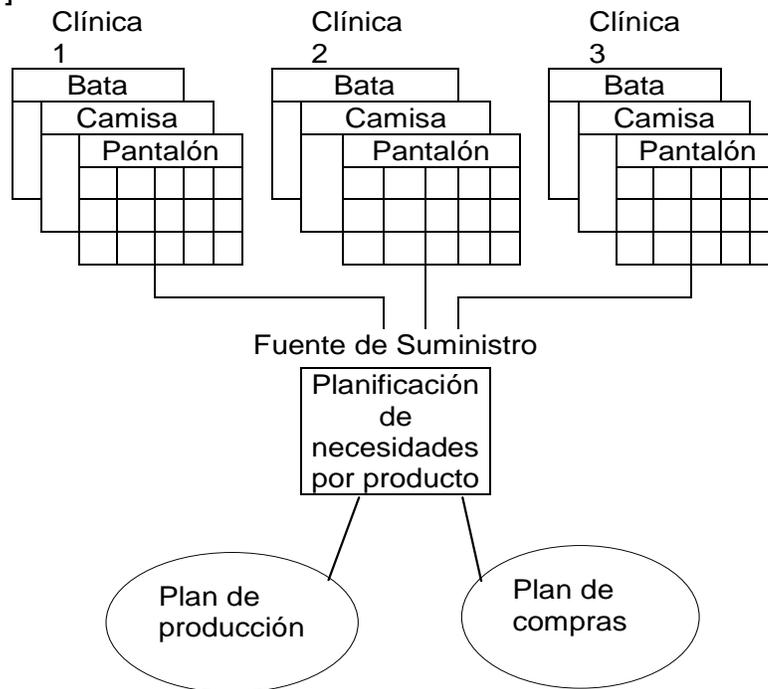


Figura 2: Árbol DRP adaptado del libro “Distribution Resource Planning Fuente: Marskell (1988)

La figura 2 muestra un árbol DRP para tres productos, que son suministrados a varios almacenes desde una misma fuente de suministro, tal como se practica en nuestro caso de estudio. Aplicado este proceso a varios productos a la vez, conseguimos que la fuente de suministro tenga una completa información sobre las necesidades de todos y cada unos de los productos, información que se puede usar para desarrollar planes de producción y compra [21].

Siguiendo con la tercera fase de la hibridación, se encuentra un modelo típico determinístico es el EOQ – Economic Order Quantity. Es el modelo más básico y conocido, desarrollado por Ford Harris en 1913 [22]. Tersine (1998) manifiesta que el

modelo permite saber el tamaño de orden que reduce al mínimo el coste de inventario total como la cantidad de orden económica [18] sin embargo años antes Banerjee señaló que un problema importante en la política EOQ es que el modelo analiza los costos sobre una base de un solo lado y no tiene en cuenta los costos generales, tanto del comprador y las perspectivas del proveedor [23].

La cantidad económica de pedido (EOQ) es un modelo fundamental para el control de inventarios ya que fue pionero en esta rama y sirvió como base para desarrollar otros modelos más complejos, el cuál en el desarrollo del modelo planteado es fundamental.

El modelo EOQ es el número de unidades por pedido de reposición que minimiza el costo total de ordenar y llevar el inventario asociado con la orden. Cuanto mayor sea la cantidad del pedido, mayor es el nivel de inventario. Sin embargo, cuanto mayor sea la cantidad del pedido, menos veces se necesitara ordenar y menor será el costo resultante de pedido [24].

Para las variables del sistema de inventarios y la aplicación real a nuestro caso, el modelo trabaja bajo suposiciones las cuales son [25]:

- Demanda Determinística y estacionaria, se supone que es constante y conocida, d unidades
- La cantidad a pedir puede ser un número entero.
- Los costes no varían con el tiempo
- Coste de reposición por pedido: k
- Coste de mantenimiento: h
- Periodo de reposición es igual a cero.

Para este modelo la cantidad de reposición óptima o EOQ es:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2dk}{h}} \tag{10}$$

Enfocados bajo los mismos supuestos, el modelo muestra que se debe realizar un pedido cuando el inventario llega a cero, esto se observa en la figura 3:

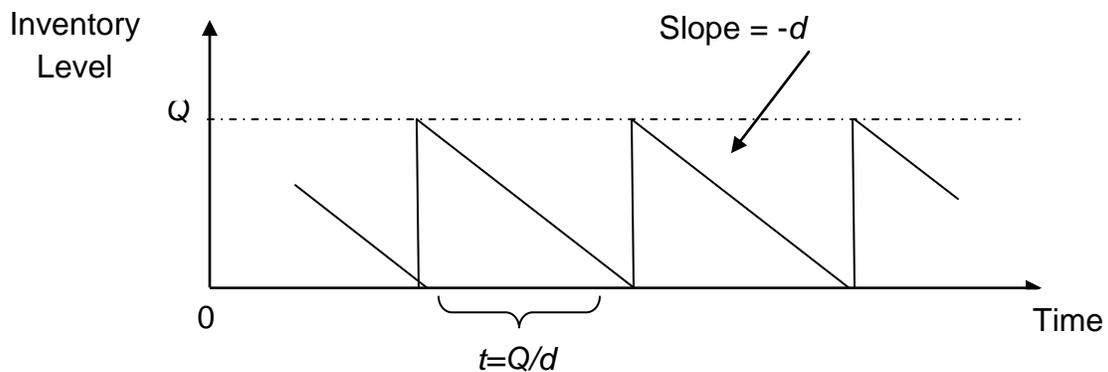


Figura 3: Nivel de inventario en el modelo EOQ
Fuente: Askin y Goldgerb (2002)

Como se observa, la planificación de la producción es también un área donde los problemas difíciles de inventarios aparecen en las operaciones logísticas diarias. Como todos los modelos, esta es una versión simplificada de lo que realmente podría ocurrir en la práctica. El supuesto de una demanda fija conocida en el horizonte infinito es claramente poco realista. Todos estos supuestos pueden ser fácilmente sensibles mientras se mantiene una política óptima relativamente simple. A los efectos de entender las ventajas y desventajas en el modelo básico, seguimos los supuestos enumerados anteriormente [26].

2. CASO DE APLICACIÓN

2.1. APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA

Viswanathan y Piplani (2001), proponen una estrategia de coordinación de inventario por medio del uso de la estrategia “Épocas Comunes de Resurtido” (ECR), también conocida como “períodos de tiempo”. El análisis lo llevan a dos eslabones en la cadena, considerando el suministro del producto de un proveedor a varios clientes. Como ya se ha mencionado, la estrategia consiste en que el proveedor realiza una oferta de descuento sobre el precio de adquisición para alentar al cliente a aceptar la estrategia ECR, la cual consiste en que el proveedor controle el inventario del cliente, y establezca las cantidades y fechas de entrega. Ciertamente, esta práctica reduce la flexibilidad del cliente, de ahí que se vea un poco forzado a verificar que el descuento efectivamente compense el incremento en los costos de su inventario.

Los autores modelan la estrategia en torno a la teoría de juego de Stackelberg, en donde el proveedor actúa como líder del juego y los clientes como seguidores. De esta manera, el proveedor toma la iniciativa y establece un descuento Z_i en el precio de los productos, y propone el período de surtimiento T_0 y el intervalo de tiempo t_i^c para cada cliente i . El seguidor, en este caso los clientes, actúan de acuerdo con la iniciativa del proveedor y toman su propia decisión revisando su política de inventario, aceptando o no el descuento y la estrategia “Épocas Comunes de Resurtido”. Se supone que los parámetros de costo y demanda de los clientes son conocidos plenamente por el proveedor, con lo cual puede tomar una decisión óptima y anticipar la reacción de los clientes. Consideran determinista y estable (estática) la demanda (D) [28].

En términos generales, el planteamiento del modelo, parte de un entorno con políticas de inventario independientes; es decir, cada uno de los actores logísticos tomará decisiones individualistas. De esta manera, la estrategia de un cliente i se basa en colocar órdenes en un intervalo de tiempo t_i^u , correspondiente a su tamaño económico de lote (EOQ).

$$t_i^u = \sqrt{(2D_iK_i)/h/D} = \sqrt{\frac{K_i}{H_i}} \tag{11}$$

con K_i = costo por ordenar; y h_i = costo de almacenamiento, para $i = 1, \dots, m$. Nótese que, $H_i = (1/2)D_ih_i$

Por su parte, el proveedor dispone de un proceso de gestión para atender las órdenes de sus clientes, y ello le representa un costo fijo A_s por atender un conjunto de éstas, y otro costo fijo A_i por atender la orden de cada cliente. De hecho, el proveedor podría incurrir incluso en un costo $A_s + A_i$ para cada intervalo. Para un conjunto de clientes, el proveedor incurre en un costo total $U g_o^u$ por intervalo, calculado por:

$$g_o^u = \frac{(A_s + \sum_i^m A_i)}{t_i^c} \tag{12}$$

Por la ausencia de coordinación, el proveedor no puede planear sus entregas y en cualquier momento puede recibir pedidos. Viswanathan y Piplani (2001), suponen que el proveedor compra producto a un vendedor externo, bajo una demanda de lote por lote. Bajo este supuesto, el proveedor no guarda inventario alguno y ordena la cantidad requerida cuando recibe una orden de algún cliente.

Bajo un entorno coordinado, el proveedor establece los intervalos t_i^c de generación de órdenes para cada cliente i , el cual se asume que sea un entero múltiple n_i del período T_0 , es decir:

$$t_i^c = n_i T_0, n_i \geq 1; \text{ entero} \tag{13}$$

Por lo tanto, el costo mínimo del inventario del cliente que acepta la estrategia ECR será:

$$g_i^c = \left(\frac{K_i}{n_i T_0} \right) + H_i n_i T_0 \tag{14}$$

Como se indicó en un principio, el cliente aceptará la estrategia ECR sólo si el descuento ofrecido es lo suficientemente grande como para compensar el incremento en los costos de inventario, y mejor aún si provee algún ahorro de $S\%$ sobre el costo inicial. Por tanto, el descuento total $D_i Z$ debe satisfacer la siguiente condición:

$$Z \geq \left(\frac{K_i}{n_i T_0} \right) + H_i n_i T_0 - (1 - S) 2\sqrt{K_i H_i} \tag{15}$$

Es decir, el descuento total debe ser mayor o igual a los costos por ordenar y mantener inventario, menos el ahorro potencial del costo incurrido sin coordinación.

Para el proveedor el costo relevante, bajo la estrategia ECR está compuesto por los costos por procesar las órdenes, más el costo del precio del descuento; es decir:

$$g_o^c = \frac{A_s}{T_0} + \sum_{i=1}^m \left(D_i Z + \left(\frac{A_i}{n_i T_0} \right) \right) \tag{16}$$

Por lo anterior, el modelo para determinar T_0 y Z para el proveedor es formulado como [28]:

$$\text{Minimizar } g_0^c = A_s/T_0 + \sum_{i=1}^m \left(D_i Z + \left(A_i/n_i T_0 \right) \right) \quad (17)$$

$$\text{Sujeto a: } D_i Z \geq \left(K_i/n_i T_0 \right) + H_i n_i T_0 - (1 - S) 2\sqrt{K_i H_i} \forall 1 = 1, \dots, m \quad (18)$$

$$T_0 \in X \quad (19)$$

$$n_i \geq 1 \text{ y entero } \forall 1 = 1, \dots, m \quad (20)$$

X es el conjunto de ECR's consideradas

Para demostrar los beneficios de la estrategia ECR, Viswanathan y Piplani (2001), aplicaron el modelo a diez clientes, estableciendo un umbral del 10% de ahorro, encontrando los siguientes resultados más importantes:

- a) Los ahorros para el proveedor son negativos para bajos valores de costos por procesar órdenes. Señalan que la coordinación de abasto por medio de ECR es sensible cuando dichos costos son más grandes que el valor del umbral dado.
- b) Para altos valores de costos por procesamiento de órdenes, los ahorros del proveedor fueron del 27 y 35% para el sistema, respectivamente.
- c) Cuando los costos por procesar órdenes A_i de un cliente específico son altos, los costos comunes de procesamiento A_s no influyen en el porcentaje de los ahorrados en costos del proveedor o el sistema.
- d) Los ahorros del proveedor como del sistema, tienden a incrementarse con la estrategia ECR, cuando los costos de procesamiento A_s y A_i son grandes.

Como avance a este planteamiento los autores Piplani y Viswanathan (2004), extendieron su modelo de coordinación de inventarios de la estrategia ECR, anterior pero ahora con múltiples épocas comunes de resurtido (MCRE, por sus siglas en inglés). Consideran un solo proveedor que abastece un producto a múltiples clientes, donde el proveedor especifica dos alternativas de épocas comunes de suministro. Los clientes se surten bajo un esquema similar al modelo anterior, pero tienen la libertad de seleccionar una de las dos alternativas. Los autores demuestran que los beneficios del proveedor bajo la estrategia MCRE pueden mejorar considerablemente los beneficios del proveedor comparado con los obtenidos en el modelo original [28].

3. CONCLUSIONES

Existen diversos factores que influyen actualmente en la competitividad de las empresas, sin duda hoy por hoy la logística se encuentra a la vanguardia, la cual se

está relacionada al desarrollo sostenible, debido a que el manejo de los recursos y el ahorro de energía es un tema fundamental en Colombia y en todos países del mundo. Para la alineación de los recursos y lograr una coordinación a nivel organizacional se busca disminuir costos respecto a papeleo, acumulación innecesaria de inventarios, realizar un manejo adecuado del transporte y compras de materia prima. Para llegar a ese nivel, se demostró que la estrategia Épocas comunes de resurtido y el modelo planteado por Piplani y Viswanathan (2004), aplican como condiciones optimas al lograr beneficios dentro de la cadena de suministro estrechando el lazo entre cliente – proveedor y competitividad organizacional.

Se pudo observar que existen diversos actores que estudian las relaciones de los diferentes modelos en cuanto al inventario. Aun así, la complejidad de los supuestos planteados al principio del modelo hace que su planteamiento sea complejo y se recurre a la hibridación por fases para unificar todas las dependientes en un mismo contexto. Siendo esto planteado se observa que un inventario coordinado y su enfoque traen consigo reducción de costos con beneficios tanto para el cliente como para el proveedor, además del control el efecto látigo pues existe una disminución de incertidumbre, ya que la demanda en este modelo es conocida determinista manejada a través de un sistema DRP.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sánchez Triana, E.; Silva Fernández, C;. (1996). Eficiencia Producción Limpia Energética para un desarrollo sustentable. Bogotá. Editorial Fescol. Colombia.
- [2] Orduna Diez, P.; (1995). El Medio Ambiente En la política de Desarrollo. Madrid. Editorial Esic. 47-49p.
- [3] Red de desarrollo sostenible de Colombia. (1992). Políticas ambientales. Página consultada el 15 de septiembre de 2011. En: <http://www.rds.org.co/politicas.htm>
- [4] Naciones Unidas. (1945). Economic Aspects of sustainable development in Colombia. Página consultada el 15 de septiembre de 2011. En: <http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/colombia/eco.htm>
- [5] Waters D. (2003) Logistics An Introduction to Supply Chain Management. New York. Palgrave Macmillan. 7-10p.
- [6] Chopra, S.; Meindl, P; (2004). Supply Chain Management. Upper Saddle River, New Jersey. Pearson Education. 24p
- [7] Pierre Dornier; Ricardo Ernst; Michel Fender y Panos Kouvelis; (1998). Global Operations and Logistics - Text an Cases. New York. Jhon wiley & Sons, INC. 214–223p.
- [8] H.L. Lee, V. Padmanabhan, S. Whang, The Bullwhip Effect in Supply Chains, Sloan Management Review, Spring 1997, Volume 38, Issue 3, pp. 93-102.
- [9] Sucky, E.;(2005). The bullwhip effect in supply chains—An overestimated problem?. Production Economics. 93–94, 253–262p.
- [10] Enarsson, L.; (2006). Future Logistics Challenges. Copenhagen Business School Press, 185p

- [11] Bowersox, D. J.; Closs, D. J.; Bixby Cooper, M.; (2007). Administración y logística en la cadena de suministro. McGraw-Hill Companies, Inc., 133p.
- [12] Jiménez Sanchez Jose Elías.; Coordinación de inventarios en una cadena de suministro a través de épocas comunes de resurtido bajo demanda dinámica considerando diversos modos de transporte y diferentes políticas de descuentos en los precios de los productos y en las tarifas de transporte. Valencia (2006). Tesis Doctoral. Universidad politécnica de valencia. Departamento de organización de empresas, economía financiera y contabilidad.
- [13] Nurwidiana; Rusdiansyah, A.; Developing Model and Algorithm of Common Replenishment Epoch (CRE) Considering Eligibility of Shipment Consolidation under Power of Two (PoT) Replenishment Policy; Surabaya Indonesia, 2008, Trabajo de Grado (Ingeniero Industrial). Sultan Agung Islamic University, Departamento de ingeniería industrial.
- [14] Sipper Daniel, Bulfin Robert.; (1998). Planeación y control de la producción. México. McGraw-Hill, pp. 253-258.
- [15] Hamdy Taha, A.; (2004). Investigación de Operaciones. University of Arkansas, Fayetteville. México. Pearson Educación. 1-9, 429-432p
- [16] Hillier, F.; Lieberman, G.J., (2006). Introduction to operations Research, McGraw-Hill Companies, 2p.
- [17] Sucky, Eric.; (2002). A Single Buyer-Single Supplier Bargaining Problem with Asymmetric Information. Theoretical Approach and Software Implementation. IEEE. Computer, Society. Department of Supply Chain Management, Goethe-University, Mertonstr. 17, 60054 Frankfurt, Germany.
- [18] Silver, E. A, y Meal H.C.; (1973). A Heuristic for selecting lot Size quantities for the case of a Deterministic Time-Varying demand rate and discrete opportunities for Replenishment. 2 ad quarter.
- [19] Tersine Richard J.; (1998). Principles of inventory and materials management. New Jersey. Prentice Hall, pp. 90-132
- [20] Bowersox, D. J.; Closs, D. J.; Bixby Cooper, M; (2006). Supply Chain Logistics Management. McGraw-Hill Companies, Inc., 314p.
- [21] Maskell, B. H. (1988). Distribution resource planning. New York. Management Accounting 66, No.1. 66, No.1 18-20p.
- [22] Harris, F.W., 1913. How Many Parts to Make at Once. Factory, The Magazine of Management, 135-136p.
- [23] Value – Adding Networks. Great Britain. Prentice Hall. 128- 235p.
- Banerjee, A., (1986). A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor. Decision Science. 292-311p.
- [24] Frazelle, E.; (2002). The Logistics of Supply Chain Management. McGraw Hill. 103p.
- [25] Bramel, J.; Simchi-Levi D; (1997). The Logic of Logistics. New York. Springer Series un Operations Research. 145-150p.
- [26] Askin Ronald G y Goldberg Jeffrey B.; (2002). Design and analysis of lean production systems. The University of Arizona. John Wiley & Sons, Inc, pp. 130-220.
- [27] Christopher, M.; (2005). Logistics and Supply Chain Management, Creating.

[28] Viswanathan, S. and Piplani, R. (2001). Coordinating supply chain inventories through common replenishment epochs. *European Journal of Operational Research*, 129, 277-286.