

UNA ESTRUCTURA PARA LA SELECCIÓN DE MODELOS DE GESTIÓN DE INVENTARIOS DE ARTÍCULOS INDIVIDUALES CUANDO LA DEMANDA ES DETERMÍNISTICA

CARLOS ALBERTO CASTRO ZULUAGA

Ingeniero de Producción Universidad EAFIT, Magíster en Ingeniería Industrial Universidad de los Andes.
Docente de Tiempo Completo adscrito al Departamento de Ingeniería de Producción de la Universidad EAFIT.
Miembro del Grupo de Investigación en Ingeniería de Producción del mismo Departamento.
ccastro@eafit.edu.co

Fecha de recepción: septiembre 01 de 2003

Tipo de artículo: Reflexión
Fecha de aceptación: diciembre 04 de 2003

Palabras clave: Estructura, gestión de inventarios, artículos individuales, demanda determinística.

Key words: Structure, inventory management, individual articles, deterministic demand

Resumen

La selección de los modelos más adecuados para la gestión de inventarios es uno de los problemas más recurrentes dentro de la industria, manufacturera y de servicios. Este proceso resulta complejo especialmente por la falta de conocimiento acerca de algún procedimiento concreto que deba seguirse para realizar una elección exitosa. A partir de una revisión bibliográfica y de la reflexión personal acerca del tema, este artículo pretende guiar al lector, de manera estructurada y sistémica, en el proceso de los modelos de control de inventarios más adecuados, de acuerdo con la naturaleza de la demanda. Los factores relevantes y los procedimientos previos a la selección de cualquier sistema de control de inventarios son tratados inicialmente; luego se propone una estructura para la

elección de modelos para el control de inventarios y finalmente se realiza una descripción de la estructura propuesta, para el caso de demandas determinísticas.

Abstract

The selection of the most adequate models for the inventory management is one of the most frequent problems within the manufacturing and services industry. This process is complex specially due to the lack of knowledge about a concrete procedure to be followed to make a successful choice. Starting from a bibliographic revision and from the personal reflection about the topic, this article pretends guiding the reader in a structured and systemic way in the process of the most adequate inventory control models according with the nature of the demand. The

relevant factors and the procedures previous to the selection of each inventory control system are treated initially; an structure for the election of inventory management control models is subsequently proposed and finally a description of the proposed structure is made for the case of the deterministic demands.

1. Introducción

Los inventarios son reservas de materias primas, suministros, componentes, trabajo en proceso y artículos terminados que aparecen en diversos puntos a través de la cadena de abastecimiento. En muchas empresas su valor alcanza hasta un 40% del costo anual, y hasta un 15% de la utilidad neta de la empresa, razón por la cual su adecuado manejo puede verse traducido en beneficios económicos en diferentes áreas de la compañía: en finanzas, con el aumento de la liquidez y el retorno sobre la inversión (ROI); en mercadeo, con el aumento de los niveles de ventas y de servicio; en producción, con la disminución de costos operativos y la rotación de los inventarios, entre otras.

La observación y reflexión personal hacen posible afirmar que en la mayoría de las empresas colombianas los encargados de manejar los inventarios son personas vinculadas a los departamentos de producción o de logística, responsables directos de los costos y de los niveles de servicio que estos generan, sin contar siempre con la formación suficiente para cumplir satisfactoriamente su función; la tarea se realiza con frecuencia de forma empírica, bien sea por desconocimiento, falta de capacitación o por la *inerencia empresarial*¹, entre otras razones. Luego de intercambiar ideas con personas encargadas de este tipo de funciones en diversas empresas puede identificarse la existencia de un problema recurrente: aunque existe mucha literatura so-

bre el tema, no se identifica con facilidad un procedimiento claro y sencillo para administrar apropiadamente los inventarios.

Este artículo pretende mostrar a las personas encargadas de la función de inventarios una manera fácil y sencilla de entender el procedimiento que debe llevarse a cabo para implementar un sistema de inventarios para demanda independiente. Se inicia con la identificación y determinación de los principales factores que afectan al sistema, continuando con los procedimientos previos que deben realizarse antes de la selección de cualquier modelo, para finalmente establecer el modelo que debe seleccionarse de acuerdo con el tipo de demanda².

2. Factores fundamentales en la gestión de inventarios

Para implementar de una manera exitosa un sistema de control de inventarios es importante que cada empresa identifique y determine los factores que intervienen en el proceso de selección de un modelo, labor que puede ser larga y compleja dada la existencia de innumerables factores que influyen directa o indirectamente sobre él. No obstante, dado que el control de los inventarios se realiza normalmente a través de modelos matemáticos, y que un modelo es una abstracción de una situación del mundo real, es necesario entonces identificar y en lo posible cuantificar aquellos factores más *relevantes* sobre la decisión por tomar a partir de los resultados obtenidos del modelo.

2.1 Factor costo

El *costo* es el principal factor que toda empresa debe considerar. Los inventarios representan un alto porcentaje de los activos de una compañía y por lo tanto establecer sus niveles adecuados

¹ *Hacer las cosas como se han realizado siempre.*

² *La mirada que aquí se presenta es de tipo global; si se quiere profundizar en alguno de los aspectos puede consultarse la bibliografía recomendada.*

es una tarea determinante. Cada empresa debe definir los costos asociados con el control de inventarios, al constituirse en el factor más importante para tomar decisiones con respecto a los *trade-offs*³ entre los niveles de servicio y de inventario, y para decidir entre ordenar grandes cantidades con poca frecuencia u ordenar pequeñas cantidades frecuentemente.

Silver (1998) define cinco costos asociados con el control de los inventarios:

- *Costo variable por unidad (v)*: es el costo de producir o adquirir una unidad de un ítem (incluido el flete), expresado en \$/unidad. Determinan los costos totales de adquisición o producción y el costo de mantener un artículo en inventario.
- *Costo de mantener (vr)*: incluye los costos de oportunidad del dinero invertido, gastos de operación de una bodega, costos de manipulación y conteo, deterioro, obsolescencia, robo, daño, seguros e impuestos. El costo total de mantener se expresa en \$/año, y se calcula multiplicando el inventario promedio (I_{prom}) por v y por el factor r , que representa el costo en pesos de mantener un peso de inventario por un año. r es expresado por algunos autores como un porcentaje del costo variable del producto (Ballou, 1999).
- *Costo de ordenar o de preparación (A)*: indica el costo fijo (independiente del tamaño del abastecimiento) asociado con una orden o una preparación, expresado en \$/orden o \$/preparación. Cuando se trata de órdenes "A" incluye: digitar la orden, gastos de correo, llamadas telefónicas, autorizaciones, inspección, etc.; la preparación incluye muchos de los anteriores costos más aquellos en que se incurren por detener la producción, tales como alistamiento de útiles y herramientas y puesta en marcha, entre otros.
- *Costo por faltantes*: son llamados también costos para evitar faltantes o costos genera-

dos cuando un agotado se presenta. Son aquellos en los que incurre una empresa cuando un artículo no está disponible en el momento que el cliente lo solicite. Involucra penalizaciones impuestas por el cliente al no tener el artículo disponible, sobrecostos de producción al expedir un pedido, repro-gramaciones, costos de transporte mayores a los normalmente utilizados y ventas perdidas. Su forma de expresión varía de acuerdo con el modelo seleccionado (\$/ocasión de agotados, \$/unidad agotada, etc.).

- *Costos del sistema de control*: los asociados con la operación del sistema seleccionado. Incluyen los costos de adquisición de datos, almacenamiento de información, mantenimiento y computación, así como los relacionados con el factor humano: entrenamiento, interpretación de resultados, etc. Aunque son un tipo de costo difícil de cuantificar, son cruciales para la selección del sistema de control.

La estimación de los anteriores costos es realizada por el departamento de contabilidad; de su correcta estimación dependerá, en gran medida, la selección exitosa del modelo a utilizar y su desempeño óptimo. Los valores deben ser revisados periódicamente replanteando, si es el caso, las decisiones tomadas con base en ellos (Zipkin, 2000).

2.2 Otros factores

Existen otros factores que afectan las decisiones de inventarios en una compañía; dado que su enumeración total sería imposible, cada em-



³ Intercambios.

presa deberá identificar aquellos que tengan una mayor trascendencia sobre la decisión. Algunas posibilidades son: patrones de comportamiento de la demanda, tipos de productos (perecederos, de moda, consumibles, etc.); proveedores (nacionales o extranjeros) y sus características (confiabilidad, ubicación, etc.); tipo de clientes y otros que se consideren vitales para la selección, implementación y desempeño de los modelos (Silver, 1998; Nahmias, 1999; Aquilino, 2000). La evaluación de los factores seleccionados permitirá al encargado de la gestión de inventarios tomar decisiones más acertadas en cuanto a la selección de los modelos más apropiados para la compañía.

3. Procedimientos previos a la selección de un modelo de control de inventarios

Existen una serie de procedimientos previos que deben llevarse a cabo cuidadosamente antes de implementar cualquier modelo de control de inventarios. Ellos son indispensables, al constituir la base para la selección de los modelos y su correcto funcionamiento.

3.1 Clasificación ABC

Cada compañía debe tener una clasificación que permita determinar los artículos, componentes, materias primas, etc., más representativos e importantes para su buen funcionamiento. La clasificación ABC es un procedimiento que permite determinar este grado de importancia, para luego definir el sistema de control idóneo, de acuerdo con el (los) criterio(s) de clasificación definidos por la compañía, los cuales pueden ser: distribución por valor (demanda por costo unitario), volumen, tipo de cliente, espacio, etc. Aunque la mayoría de las empresas utilizan un solo criterio de clasificación para realizar el análisis de sus productos, puede ser más conveniente realizar clasificaciones multicriterio, que puedan resultar más acertadas.

La clasificación ABC aplica el *Principio de Pareto* a los diferentes tipos de inventarios existentes en una compañía. Establece que cerca

del 80% de las utilidades de una compañía corresponden aproximadamente al 20% de las referencias, los cuales se consideran tipo *A*; entre el 20% y el 50% de las referencias (un 30% de los artículos) representan el 15% de las utilidades y son considerados tipo *B*; el restante 50% (entre el 50% y el 100%) representan el 5% de las utilidades y se consideran de tipo *C*. La Figura 1 muestra un análisis típico de una clasificación ABC.

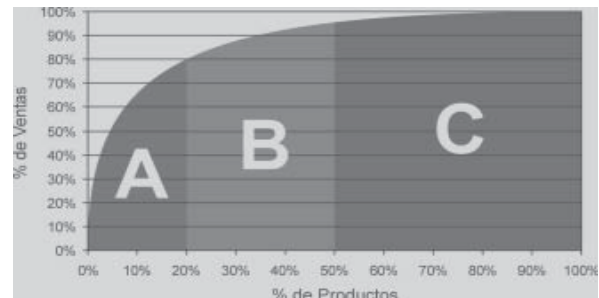


Figura 1. Clasificación Típica ABC por ventas

Fuente: Propuesta del autor

Si cada empresa realiza su propia clasificación puede definir la estrategia a seguir con cada artículo. Por ejemplo, para artículos catalogados como *A* se desearía maximizar las utilidades, luego debería aplicar un modelo riguroso, preciso, costoso y probablemente complejo; por su parte, para artículos clasificados como *C* debería utilizarse un modelo más sencillo y menos costoso, logrando por ejemplo disminuir la probabilidad de agotados en un tiempo relativamente largo. Así, puede afirmarse que la clasificación ABC es el paso más importante que debe realizarse antes de seleccionar un modelo de control de inventarios.

3.2 Pronósticos de demanda

La demanda debe pronosticarse para planear el sistema productivo, el abastecimiento y los despachos, de manera que la cadena de suministros opere correctamente. Los pronósticos permiten la obtención de información relevante, precisa y confiable, que debe ingresar a los sistemas de control de inventarios; es entonces necesario que las empresas utilicen correctamente los modelos y procedimientos más adecuados para tal fin.

Chase (2000), divide los modelos de pronósticos en cuatro grupos básicos:

- *Modelos cualitativos*: son subjetivos y se basan en opiniones y procedimientos realizados por personas consideradas como expertas en una compañía
- *Modelos de series de tiempo*: suponen que el futuro se comporta de manera similar al pasado. Las proyecciones se realizan mediante la utilización de modelos matemáticos que tratan de buscar relaciones entre los datos pasados y el tiempo
- *Modelos causales*: suponen que la demanda se relaciona con una o varias variables diferentes al tiempo, y tratan de establecer sus interrelaciones mediante modelos matemáticos
- *Modelos de simulación*: examinan supuestos sobre las condiciones del pronóstico, y establecen predicciones del tipo “que pasaría sí...”.

Los inventarios de seguridad son elementos del control de inventarios que buscan proteger a las empresas contra las fluctuaciones de la demanda; se encuentran directamente relacionados con los pronósticos, específicamente con los errores que ellos generan. De esta manera, mejorar la

calidad de un pronóstico conlleva la disminución de este tipo de inventarios, reduciendo de manera significativa el costo de los inventarios y ofreciendo un mejor nivel de servicio al cliente. Para lograrlo se hace necesario que las empresas trabajen de la mano con proveedores y clientes y utilicen mejores modelos de proyección, para disminuir las fuentes de error y predecir de forma más acertada la demanda futura.

Para realizar un pronóstico adecuado, cualquiera sea el método empleado, se recomienda llevar a cabo los siguientes pasos:

- *Levantamiento u obtención de datos y retroalimentación permanente de los resultados obtenidos*. Si no se dispone de la información es necesario recopilarla; cuando definitivamente ella no se encuentra disponible (por ejemplo en el caso de artículos nuevos) es necesario utilizar técnicas de tipo cualitativo (Chase, 2000)
- *Identificación de patrones de comportamiento de la demanda*. La Figura 2 muestra los diferentes tipos existentes; realizar la identificación del más representativo es de vital importancia para definir el modelo de pronóstico por emplear.

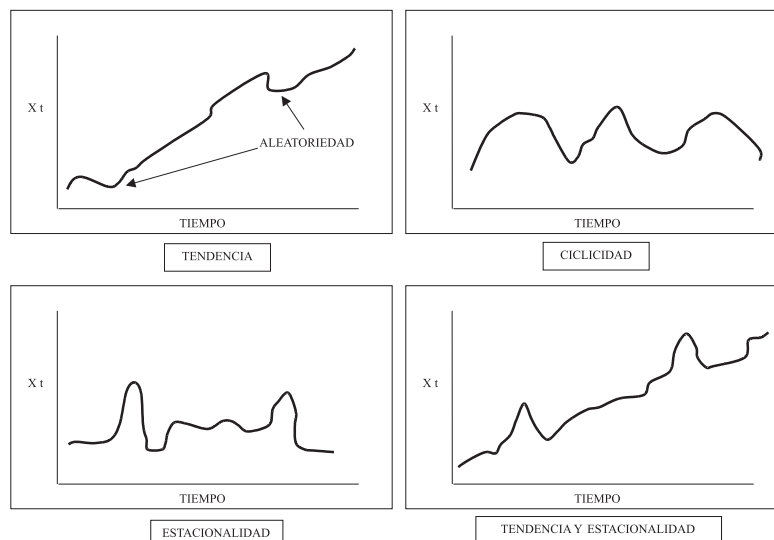


Figura 2. Patrones de Comportamiento de la Demanda

Fuente: Propuesta del autor

- *Definición del tipo de modelo a utilizar, de acuerdo con el patrón identificado.* Modelos diferentes han sido desarrollados para cada patrón de comportamiento; es necesario emplear varios de ellos y luego realizar análisis comparativos de sus resultados.⁴
- *Medición del error y comportamiento del modelo en el tiempo.* Para medir los errores de un pronóstico se emplean básicamente los siguientes indicadores: el MAD (Desviación Absoluta Media) y σ_L (Desviación Estándar del Error del Pronóstico); ellos representan una medida inicial sobre la exactitud de los modelos utilizados. Para validar el comportamiento del modelo en el tiempo y realizar los ajustes necesarios alcanzando un buen funcionamiento también se hace necesario realizar un control del pronóstico, mediante la utilización de la *señal de rastreo*, la cual permite identificar posibles sesgos en el pronóstico (Sipper, 1997) (Silver, 1998)

- *Incorporación del juicio humano.* Dado que la mayoría de los modelos son desarrollos matemáticamente y que es imposible incluir “todos” los posibles factores que afectan el pronóstico de la demanda, es importancia incluir apreciaciones de expertos; solo ellos pueden identificar otras posibles causas influyentes en el resultado obtenido.

4. Estructura para la selección de modelos de gestión de inventarios para artículos individuales

La Figura 3 muestra el esquema propuesto para la selección de modelos de gestión de inventarios para artículos individuales, indicando los pasos que deben seguirse para establecer el modelo de control de inventarios más apropiado en forma sencilla. El esquema se ha construido para su lectura de parte de todas las personas, incluso de quienes no tengan un conocimiento profundo sobre el tema.

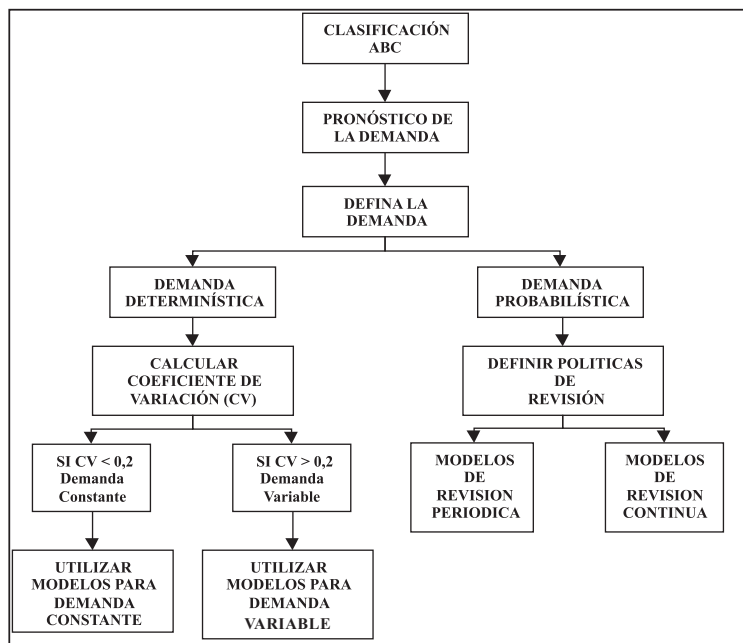


Figura 3. Estructura para la Selección de Modelos en la Gestión de Inventarios

Fuente: Propuesta del autor

⁴ Los diferentes modelos de proyección se encuentran ampliamente explicados en la bibliografía citada (Sipper, 1998).

De la *definición de la demanda* de cada artículo por controlar en una compañía dependerá la selección del modelo por emplear. Se describe aquí el proceso de selección de modelos para el caso en el que la demanda se considera determinística, esto es, se supone que la demanda tiene un comportamiento predecible con certeza. Aunque este es un supuesto significativo, y a la luz de muchos totalmente irreal, varios productos pueden llegar a tener este tipo de comportamientos si se utilizan técnicas más precisas de predicción y se realizan negociaciones con clientes y proveedores, disminuyendo de esta manera la variabilidad de la demanda y por lo tanto los errores en la proyección.

La demanda determinística puede dividirse en dos tipos: a) aquella que presenta un patrón relativamente constante en el tiempo; b) la que presenta cambios en el tiempo, es decir, que es variable.

Encargados del control de inventarios en las empresas suelen preguntar: ¿cómo puede determinarse cuándo una demanda es constante y cuándo variable? Una medida muy útil para resolver esta pregunta es el coeficiente de variación (*VC*), que se calcula de la siguiente forma:

$$VC = \frac{\text{Desviación estándar de la demanda}}{\text{Demanda promedio}}$$

El *VC* de cada artículo puede ser calculado con facilidad utilizando una hoja de cálculo. Varios autores (Silver, 1998; Sipper, 1997) han mostrado que un valor umbral de *VC* debería estar en la vecindad de 0,5, es decir:

- Si $VC < 0,5$, la demanda puede considerarse aproximadamente constante
- Si $VC > 0,5$, la demanda puede ser tratada como variable.

De acuerdo con la Figura 3, luego de calcular el *VC* de cada producto es posible determinar la ruta que debe tomarse para la selección del mo-

delo más apropiado de control de inventarios. Se explica a continuación el tratamiento por emplear de acuerdo con el tipo de demanda.

4.1 Modelos para demanda aproximadamente constante

Para aquellos artículos cuya demanda es relativamente constante y predecible y el tiempo de abastecimiento (*LT*) se supone conocido e independiente de ella, la utilización de modelos robustos es la mejor opción para el control de inventarios. Si bien en el mundo real no se cumplen a cabalidad estos supuestos, la utilización de estos modelos debe considerarse punto de partida de cualquier sistema de control de inventarios pues permite, en este caso en particular, determinar la magnitud del abastecimiento, que se constituye en la principal incógnita por resolver en este tipo de modelos. De esta manera, el modelo *EOQ*, descrito a continuación, es la base para implementar modelos más elaborados; además, los supuestos para derivarlo pueden relajarse incluyendo otros factores.

- *Cantidad Económica a Ordenar (EOQ)*. El *EOQ* fue uno de los primeros modelos propuestos para el control de inventarios (Harris, 1915); es parte fundamental del proceso de toma de decisiones en gestión de inventarios por su robustez y facilidad de aplicación. Sus supuestos principales son: a) demanda aproximadamente constante y determinística; b) la cantidad por ordenar no tiene que ser discreta y no hay restricciones de cantidad; c) no hay descuentos por cantidad; d) los costos involucrados permanecen constantes en el tiempo; e) los artículos deben manejarse de manera independiente (no existe agregación); f) el tiempo de abastecimiento es cero, o al menos conocido con certeza; g) no se permiten faltantes debido a que no hay variación en la demanda; h) no se permiten entregas parciales, es decir, la orden llega completa en el mismo momento de tiempo; i) los parámetros permanecen constantes en el horizonte de planeación.

Como puede observarse, varios supuestos que intervienen para derivar el *EOQ* se alejan de realidad; no obstante, debido a su gran robustez, se ha comprobado que los costos de penalización por utilizar el *EOQ* en lugar de un modelo más complejo son del 12,5% o menos (Zheng, 1992; Axsäter, 1996, Silver, 1998).

Los supuestos a), b), d) e i) pueden relajarse ante la robustez del modelo; esto significa que el modelo opera de manera correcta sin que sea necesario calcular con exactitud los costos y demás parámetros involucrados, o utilizar los valores exactos resultantes de su aplicación. El *EOQ* busca entonces hallar el tamaño de lote óptimo que minimice los costos relevantes (costos de mantener y de ordenar); en la Figura 4 se muestra la gráfica de los costos involucrados, así como la expresión para el cálculo del tamaño económico de lote (*EOQ* o Q^*).

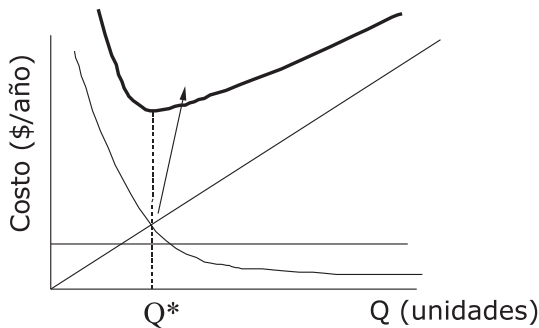


Figura 4. Modelo *EOQ*. Los costos como función de las cantidades por abastecer
Fuente: Propuesta del autor

- *Modelos de descuentos por cantidad.* Uno de los supuestos más fuertes para la derivación del *EOQ* es que la magnitud del abastecimiento no depende del costo variable por unidad (v): no existen descuentos por cantidad. No obstante, en ciertas situaciones reales (compras, transporte y algunas situaciones de producción) sí existen descuentos de este tipo, siendo necesario realizar una modificación al modelo *EOQ* básico con el fin de enfrentar

dicha situación y obtener ahorros sustanciales. Dolan (1987) proporciona un número importante de ejemplos de descuentos por cantidad y del tratamiento que debe darse ante diferentes situaciones de este tipo. Aunque las estructuras de descuentos pueden ser muy variadas, existen principalmente dos tipos: a) el descuento se realiza a todas las unidades (Silver, 1998); b) los descuentos se realizan de forma incremental (Hax and Candea, 1984; Güder, Zydiak and Chaudhy, 1994).

- *Cantidad Económica de Producción (EPQ).* El modelo *EOQ* igualmente supone que al momento de despachar una orden ésta se encuentra completa y producida, es decir, la capacidad se supone infinita. Sin embargo, cuando se realiza el control de inventarios en ambientes productivos se hace necesario modificar el *EOQ* básico para tener en cuenta la capacidad real de producción; de la modificación resulta el modelo *EPQ*, cuyo comportamiento se muestra en la Figura 5.

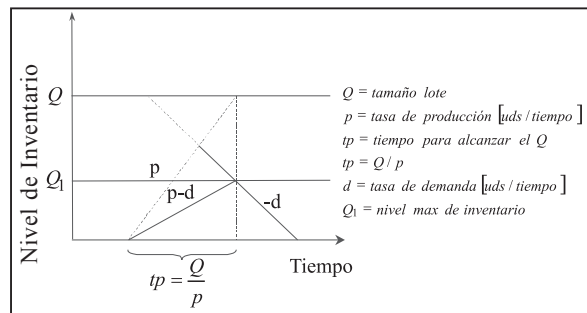


Figura 5. Comportamiento de un sistema *EPQ*
Fuente: Propuesta del autor

La cantidad económica de producción se calcula mediante la siguiente expresión (Zipkin, 2000):

$$EPQ = EOQ \times \sqrt{\frac{p}{p-d}} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

En la Ecuación 1, p es la tasa de producción y d es la tasa de demanda o consumo.

- *Métodos que involucran otros factores.* Se han desarrollado varios métodos que relajan otros de los supuestos involucrados en la derivación del EOQ. Entre ellos se encuentran: a) modelos de ajuste por inflación, que relajan el supuesto de que los costos permanecen constantes en el tiempo (Buzacott, 1975, Jesse Jr., Miltra and Cox, 1983; Kanet and Miles, 1985; Mehra, Agrawal and Rojagopalan, 1991); b) modelos que involucran diferentes tipos de costos de mantener, de acuerdo con el volumen del producto (Silver, 1998); c) modelos que incluyen múltiples costos de transporte (Carter and Ferrin, 1995); d) modelos con escasez (Zipkin, 2000), entre otros. Los encargados del control de inventarios deben también investigar la posibilidad de utilizar modelos de abastecimiento conjunto, con los cuales pueden obtenerse múltiples beneficios de coordinación, disminución de costos y aumento de los niveles de servicio (Silver, 1998; Zipkin, 2000).
- Ambientes de demanda dependiente, en donde se programan artículos finales que se explotan en subensambles o componentes: la *Planeación de Requerimientos de Materiales (MRP)*
- Producción bajo pedido, en la cual se conocen con anterioridad y exactitud las cantidades y tiempos de entrega
- Identificación de artículos con demanda estacional cuya demanda sean fácilmente predecible
- Manejo de artículos con tendencia, de los cuales se espera que esta continúe durante el horizonte de planeación
- Gestión de partes para mantenimiento preventivo, cuando las diferentes actividades de mantenimiento han sido programados y por lo tanto su fecha es conocida.

El tratamiento de demandas determinísticas variables es conocido como *dimensionamiento de lote* y se aplica cuando se presentan alguna de las situaciones así enumeradas. Los modelos propuestos para solucionar este tipo de problemas suponen que durante los periodos de planeación la tasa de demanda es constante, lo cual no tiene mayor relevancia si se considera que los pronósticos se realizan de esta forma. Por otra parte, es importante definir si el abastecimiento se realiza en periodos de tiempo entero (de manera discreta), o si puede realizarse en cualquier momento del horizonte de planeación (de forma continua). Con el fin de lograr obtener los mayores beneficios de estos modelos y lograr una coordinación exitosa cuando existen múltiples artículos, es recomendable definir periodos de tiempo discretos para realizar el abastecimiento de los distintos ítems⁵.

4.2 Modelos para demanda variable

Cuando la tasa de demanda varía en el tiempo, la suposición de emplear la misma cantidad para cada abastecimiento no sería la estrategia más apropiada, ya que pueden generarse altos niveles de inventario en los periodos con menores demandas, o puede tenerse gran cantidad de agotados en los periodos de máxima demanda. Se hace entonces necesario utilizar la información de demanda en un periodo de tiempo finito, conocido como *horizonte de planeación*, para lograr establecer cuándo y de qué magnitud debe hacerse cada aprovisionamiento, de acuerdo con las variaciones de la demanda en tal horizonte; así se logrará disminuir los costos relevantes en la gestión de inventarios. Algunas situaciones reales en las cuales la demanda es pronosticada o conocida con anterioridad y varía en el tiempo son:

- *Modelo EOQ básico:* utiliza una cantidad económica fija por ordenar, la cual se calcula con

⁵ No es el propósito de este artículo entrar en detalle sobre ningún modelo específico; no obstante, se recomienda al lector entrar a conocer diversos métodos para enfrentarse a este tipo de problemas.

base en la tasa de consumo promedio durante el horizonte de planeación, cada vez que un abastecimiento es requerido. Su aplicación tiene sentido aplicarlo cuando la variabilidad de la demanda es baja, esto es, cuando la suposición que la demanda es relativamente constante no es violada significativamente (Kaiman, 1969; Castro y Vélez, 2003).

- *Modelo Wagner-Whitin*: Wagner y Whitin (1958) desarrollaron un algoritmo que garantiza un abastecimiento óptimo en términos de minimización de costos de mantener y de ordenar. El algoritmo es una aplicación de la programación dinámica, el cual puede ser programable en Visual Basic u otro lenguaje de programación. Existen en la actualidad modificaciones del algoritmo que han sido probadas exitosamente a escala industrial (Potamianos and Orman, 1996), aunque no han tenido la aceptación pretendida por sus autores, especialmente por la dificultad para entenderlo y poder enlazarlo con aplicaciones de software de MRP.
- *Modelos heurísticos*: debido especialmente a las dificultades para la implementación y utilización práctica del algoritmo de Warner-Whitin, diversos autores han desarrollado modelos de este tipo; a pesar de no encontrar siempre una solución óptima al problema propuesto, ellos encuentran soluciones pseudóptimas de manera fácil de entender y programar por los encargados del manejo y control de los inventarios en las empresas. Entre los modelos heurísticos más utilizados para enfrentar problemas de demanda variable se encuentran: a) algoritmo Silver - Meal, o menor costo por periodo (Silver and Meal, 1973); b) heurístico menor costo por unidad (Silver and Miltenburg, 1984); c) heurístico balance parte - periodo (DeMatteis, 1968; Mendoza, 1968), entre otros.

5. Conclusiones

Para establecer cuánto y cuándo necesita sus productos y alcanzar los objetivos planteados en cuanto a niveles de servicio y costos, toda orga-

nización (manufacturera o de servicios) requiere controlar sus inventarios. Para esto se hace necesario que los encargados de la función de inventarios dentro de las empresas utilicen un modelo de gestión que les permitan realizar un adecuado control de los niveles de inventario de sus productos, y tomar las decisiones más acertadas frente a estos.

La selección de cualquier modelo de control de inventarios implica que estas personas hayan identificado una serie de factores clave y ejecuten algunos procedimientos previos necesarios para tomar tal decisión. La estructura de selección propuesta permite a los responsables de inventarios visualizar un procedimiento sencillo para determinar la utilización de algún tipo de modelo, a partir de la ejecución de una serie de pasos secuenciales orientados a tomar la mejor decisión.

Aunque pueda resultar inconcebible que la demanda de algunos productos presente un comportamiento determinístico, contribuyen a obtener este comportamiento la utilización de mejores métodos de predicción, el trabajo cooperativo con proveedores y clientes y la definición de políticas de fabricación bajo pedido; estos solo son algunos de los medios que una empresa pueda utilizar para lograr definir con mayor exactitud la demanda futura.

Finalmente quiere resaltarse la necesidad de realizar la implementación de modelos de control de inventarios de forma gradual y no generalizada a toda la planta, teniendo en cuenta que, como en todo proceso, existirá un periodo de aprendizaje por parte de los encargados de la implementación. Por esto también es recomendable iniciar con modelos robustos y fáciles de comprender, como los descritos en el artículo; la comprensión de su forma de funcionamiento podrá convertirse en una buena aproximación y punto de partida para implementar modelos más complejos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AXSÄTER, S. (1996). Using Deterministic EOQ Formula in Stochastic Inventory Control. *Management Science*, 16 (7)
- [2] BALLOU, R. H. (1999). *Business Logistics Management*. 4th. ed., Ed. Prentice Hall, New Jersey
- [3] BUZACOTT, J. A. (1975). *Economic Order Quantities With Inflation*. En: *Operational Research Quarterly*, 26 (3)
- [4] CARTER, J. R. and FERRIN, B. G. (1995). *Transportation Costs on Supply Chain Management*. En: *Journal of Business Logistics*, 16 (1)
- [5] CASTRO, C.A. y VÉLEZ, M.C. (2003). *Modelo de Revisión Periódica para el Control del Inventario en Artículos con Demanda Estacional. Una Aproximación desde la Simulación*. En: *Revista Dyna*. Año 69, No. 137
- [6] CHASE, R.; AQUILANO, N. and JACOBS, R. (2001). *Operations Management for Competitive Advantage*. 9th ed., Ed. McGraw Hill, New York
- [7] DEMATTEIS, J. (1968). *An Economic Lot-Sizing Technique I: The Part-Period Algorithm*. En: *IBM Systems Journal*, 7 (1)
- [8] DOLAN, R. J. (1987). *Quantity Discounts: Managerial Issues and Research Opportunities*. En: *Marketing Science*, 6 (1)
- [9] GÜDER, F., ZYDIK and CHAUDHLY, S. (1994). *Capacitated Multiple Item Ordering with Incremental Quantity Discounts*. En: *Journal of Operational Research Society*, 45 (10)
- [10] HAX, A.C. and CANDEA, R. (1984). *Production and Inventory Management*. Egleewood Clifs, Ed. Prentice Hall, New Jersey.
- [11] HARRIS, F.(1915). *Operations and Cost*. En: *Factory Management Series*, Shaw, Chicago
- [12] JESSE Jr., MILTRA, R.A. and COX, J (1983). *EOQ Formula: Is It Valid Under Inflationary Conditions?* En: *Decision Science*, 14 (3)
- [13] KAIMANN, R.A. (1969). *EOQ vs Dynamic Programming-With One to Use for Inventory Ordering*. En: *Production and Inventory Management*, 10 (4)
- [14] KANET, J.J. and MILES, J.A. (1985). *Economic Order Quantities and Inflation*. En: *International Journal of Production Research*, 23 (3)
- [15] MEHRA, S., AGRAWAL, S.P. and ROJAGOPALAN, M. (1991). *Some Comments on the Validity of EOQ Formula under Inflationary Conditions*. En: *Decision Science*, 22
- [16] MENDOZA, A. (1968). *An Economic Lot Sizing Technique II: Mathematical Analysis of the Part-Period Algorithm*, En: *IBM Systems Journal*, 7(1)
- [17] NAHMIAS, S. (1999). *Análisis de la Producción y las Operaciones*. 1^a ed., CECSA. México
- [18] POTAMIANOS, J. and ORMAN, A.J. (1996). *An Interactive Dynamic Inventory Production Control System*. En: *Journal of Operations Research Society*, 47
- [19] SIPPER, D and BULFIN, R.L. (1997). *Production Planning, Control and Integration*. Ed. McGraw Hill, New York
- [20] SILVER, E; PYKE, D. and PETERSON, R (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. 3d edition. Wiley & Sons, New York
- [21] SILVER, E and 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*. En: *Production and Inventory Management Journal*, 2nd Quarter
- [22] SILVER, E. and MILTENBURG, J (1984). *Two Modifications of the Silver-Meal Lot Sizing Heuristic*. En: *Infor*, 22 (1)
- [23] WAGNER, H. and WHITIN, T.M. (1958). *Dynamic Version of the Economic Lot Size Model*. En: *Management Science*, 5 (1)
- [24] ZHENG, Y.S. (1992). *On Properties of Stochastic Inventory Systems*. En: *Management Science*, 38 (1)
- [25] ZIPKIN, P.H. (2000). *Foundations of Inventory Management*. Ed. McGraw Hill, USA