

METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE EXISTENCIAS EN SISTEMAS MULTIPRODUCTO, MULTIESLABON EN AMBIENTES DE ALTA VARIABILIDAD.

Germán Andres Méndez Giraldo

Profesor Titular, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
Cr 7 No 40 – 53, Bogotá, Colombia.
gmendez@udistrital.edu.co

Eduyn Ramiro López Santana

Profesor Auxiliar, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
Cr 7 No 40 – 53, Bogotá, Colombia.
erlopezs@udistrital.edu.co

RESUMEN

Este documento presenta una metodología integrada para la gestión de existencias en ambientes multiproducto para diferentes eslabones de una cadena de suministro con alta variabilidad en la demanda. Esta metodología está compuesta de tres módulos: primero, la clasificación dinámica de los productos finales a mantener en inventario de acuerdo a su movimiento e importancia; segundo, la estimación de la demanda en un ambiente de alta variabilidad por medio de un pronóstico agregado, y finalmente un módulo de fijación de las políticas de inventario en donde se define la cantidad de pedido, el tiempo de pedido y los niveles de seguridad a mantener. La metodología es implementada en una empresa líder en Colombia de productos polivinilos, de la cual se muestran algunos de los resultados principales.

PALABRAS CLAVE. Pronóstico, Políticas de Inventario, Variabilidad.

Área principal (AD & GP- IO en Administración y Gestión de la Producción, L & T - Logística y Transporte, OA - Otras aplicaciones en IO)

METHODOLOGY FOR INVENTORY MANAGEMENT OF MULTI-PRODUCT AND MULTI-STAGE SYSTEMS, IN HIGH VARIABILITY ENVIRONMENTS

ABSTRACT

This paper provides an integrated methodology for the stocks management in multi-product environments for different stages in a supply chain and high variability in demand. This approach is made of three modules: first, the dynamic classification of the end items to keep in inventory according to their movement and importance; second, the estimated demand in a high variability environment by an aggregate forecast, finally a module fixing inventory policy, where is defined in which the quantity to order, the time of order and security stocks levels. The methodology is implemented in a leader company in Colombia polyvinyl products, we show some main results.

KEYWORDS. Forecasting, Inventory Policy, Variability.

Main area (AD & GP - OR in Administration & Production Management, L & T - Logistics and Transport, OA - Other applications in OR)

1. Introducción

En la actualidad las empresas buscan una continua mejora de sus procesos de planeación, que incluye desde el método de pronóstico de la demanda hasta la disposición final de materias primas y productos terminados, empleando de una u otra forma conceptos y herramientas de logística y gestión de operaciones de forma separada. Sin embargo, hoy se reconoce la importancia de disponer de una metodología de integración entre la logística y la planeación de operaciones, en actividades como la gestión de la demanda, la clasificación de productos y la fijación de políticas de inventario, cobrando especial atención en las cadenas de suministro dada su gran variabilidad en múltiples productos y comportamiento estocástico. La mejora de estos procesos requiere del manejo correcto de las etapas críticas de estimación de la demanda, planeación de inventarios, planeación de los recursos de producción y distribución, y programación de la producción y planeación de materiales. De estos cuatro procesos, se considera que se debe iniciar por los dos primeros como requisito de los restantes, de forma secuencial.

La metodología propuesta se basa en los modelos de gestión integral para sistemas donde existe un conjunto de familias de productos (como tipos, clases, etc.) que son considerados como sistemas multiproducto y que se basan en una cadena de abastecimiento que recoge las necesidades de los mayoristas y minoristas (como distribuidores, centros de distribución y plantas de producción) que son llamados sistemas multieslabon. Se propone una estrategia que coayuden a aumentar la productividad y servicio, ya que tradicionalmente las aplicaciones tipo ERP (software de sistemas integrados de gestión, Enterprise Resource Planning) manejan los pronósticos en una estructura de abajo - arriba faltando aún el proceso de doble vía, es decir de arriba - abajo. Esta metodología surge como resultado de un proyecto avalado y financiado por una empresa líder en Colombia del sector de tuberías y desarrollado por el grupo de investigación Sistemas Expertos y Simulación (SES) adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Este artículo está organizado en 5 partes incluyendo esta introducción. En el apartado 2 se muestra el marco referencial donde se abarca generalidades sobre la clasificación de inventarios, técnicas de pronósticos y políticas de inventario. En la parte 3 se encuentra la metodología propuesta para clasificación de productos, estimación de demanda, y fijación de políticas de inventario; seguido se describe una aplicación realizada y sus principales resultados en el apartado 4. Para finalizar en el apartado 5 se presentan las principales conclusiones de la metodología propuesta.

2. Marco Referencial

2.1. Revisión de la Literatura

Respecto a la clasificación de inventarios y productos se han realizado diferentes trabajos que utilizan aproximaciones de modelación matemática para establecer las diferentes agrupaciones de productos utilizando una metodología ABC y diferentes criterios de importancia. Como Chu et al (2008) plantea una metodología basada en conjuntos difusos para la clasificación y control de inventario llamado ABC-Fuzzy clasificación (ABC-FC), que puede manejar las variables lingüísticas que incorpora la experiencia del gerente al juicio en la clasificación del inventario, y se pueden implementar fácilmente, encontrando con alta precisión de clasificación de los productos. Por otro lado Chen (2011) presenta un enfoque donde se determinan dos tipos comunes de pesos y se agrega múltiples criterios de manera objetiva, de tal forma que se logre un indicador de desempeño más racional en comparación con las metodologías clásicas. Torabi et al (2012) presenta un sistema de apoyo a las decisiones para el análisis y control de inventarios mediante tres diferentes tipos de análisis: basado en el precio, la cantidad y en la importancia (ABC), mostrando una aplicación del método al inventario de una planta de gas, buscando aislar las partes más críticas en términos de sus precios y cantidades respectivamente.

También se pueden utilizar metodologías basadas en múltiples criterios como las mostradas por Hadi-Vencheh (2010), o metodologías subjetivas como la presentada por Ng (2007), o algunas basadas en métodos de optimización con múltiples criterios dando

ponderaciones como la de Ramanathan (2006). La utilización de métodos de optimización para la clasificación de inventarios también ha incursionado en la aplicación de técnicas de inteligencia artificial, como algoritmos genéticos, redes neuronales, sistemas de decisión basados en reglas como los mostrados en Partovi y Anandarajan (2002), Tsai y Yehy (2008), Rezaei y Dowlatshahi (2010).

2.2. Inventario y su clasificación

De acuerdo con Arora (2005), el inventario puede ser clasificado en los aspectos de manufactura, servicio y control. En el primer caso se tienen los inventarios de materia prima, componentes y sub-ensambles comprados a terceros, que se almacenan con el fin de asegurar su disponibilidad para la producción. También se deben considerar aspectos como la proximidad del proveedor, relación con el proveedor, predecibilidad del proceso de producción, tiempos de aprovisionamiento requerido para poner una orden, transportabilidad y perecibilidad de los materiales, Bhalla (2000). También se tienen los inventarios de producto en proceso (WIP, Work In Process) o artículos en forma semi-terminada; en este caso se manejan lotes de material y partes compradas, desde el momento en que son liberadas al taller hasta que hacen parte del producto terminado Askin y Goldberg (2002).

Otro grupo son los inventarios de producto terminado, incluye los productos listos para despachar a los clientes, Hopp y Spearman (2008), donde se consideran los inventarios de tubería (pipeline) que son los productos en tránsito entre instalaciones (fábricas), que incluye materia prima siendo entregada a la planta y productos finales siendo enviados a las bodegas o a los clientes, al igual cuando el movimiento es lento y/o en grandes distancias y/o debe tener lugar entre muchas etapas, la cantidad de inventario en la tubería podría incluso exceder la cantidad mantenida en los puntos de almacenaje, Ballou (2003).

Cuando el control de inventarios abarca cientos o miles de productos es difícil llevar el registro de cada uno y tener la misma capacidad de control sobre ellos. En general, se puede decir que el exceso y la escasez no afectan a todos los productos en almacenamiento por igual, entonces es mucho más fácil dividirlos en un número de grupos (agruparlos) y utilizar las mismas técnicas de pronósticos y control de inventarios para todos los pertenecientes al mismo grupo. La agrupación de los artículos se puede hacer en muchas maneras diferentes y debe depender de las necesidades de la organización, Ballou (2003).

El análisis ABC (Always Better Control) es una herramienta analítica básica que permite concentrar los esfuerzos en donde éstos tendrán un mayor efecto, Hopp y Spearman (2008). Se puede comprobar que en la mayoría de sistemas de producción sólo unos pocos productos contribuyen para la mayoría del consumo anual de dinero, es decir, se comportan de acuerdo con el principio de Pareto de pocos vitales y muchos triviales. Estos pocos son llamados de clase A, los cuales son claves para el negocio ya que sus existencias constituyen la mayoría de inversión en recursos de inventario, los otros conocidos como B y C son numerosos en cantidad pero su contribución es menos significativa.

2.3. Técnicas de Pronósticos

Pronosticar es la ciencia y arte de predecir eventos futuros, Méndez (2003). Puede implicar tomar datos históricos y proyectarlos hacia el futuro con alguna clase de modelo matemático, también puede ser una predicción subjetiva o intuitiva, o puede implicar una combinación de éstas, es decir, un modelo matemático ajustado por el buen juicio de un administrador. Con poca frecuencia existe una técnica superior a las otras, lo que trabaja mejor en una compañía bajo un conjunto de condiciones puede ser un completo desastre en otra organización, o aún en un departamento diferente de la misma organización. Los pronósticos son a veces perfectos, son costosos y toman tiempo considerable para prepararse y para ser monitoreados, sin embargo para que la planeación estratégica sea efectiva, tanto en el corto como en el largo plazo, se depende de un pronóstico de la demanda y es inevitable enfrentar la necesidad de hacer pronósticos Heizer y Render (2010). Para construir un sistema de pronósticos se necesitan por lo menos: ciertos datos iniciales, una técnica de pronósticos y los métodos de revisión y monitoreo necesarios para actualizar el modelo, siendo un círculo de retroalimentación

constante.

Se han desarrollado varias técnicas de pronósticos que se pueden clasificar principalmente en dos categorías: métodos cuantitativos y métodos cualitativos. Los primeros se usan cuando se tiene disponible información cuantitativa suficiente. Estos a su vez se pueden clasificar en: series de tiempo (Extrapolativos) que predicen la continuación de patrones históricos y los explicativos (Causales o Estructurales) que pretenden ayudar a entender una variable dependiente en términos de las variables explicativas, como por ejemplo el precio afecta la demanda. Los segundos se utilizan cuando la información no está disponible, o es un producto nuevo, etc., empleando técnicas como el método Delphi, curvas de aprendizaje, curvas logísticas, investigación de mercados, entre otras, Borisov et al (2008).

2.4. Políticas de Inventario

Los gerentes de operaciones deben tomar dos decisiones básicas sobre el sistema de inventarios: cuándo reordenar existencias y cuánto debe pedirse. El tiempo para reordenar se conoce como punto de reorden, y es una señal cuando se ha alcanzado un nivel predeterminado del inventario. La cantidad que hay que pedir se conoce como cantidad de pedido o lote. Por otra parte, la demanda de un producto puede ser dependiente o independiente, que afectan las políticas de inventario a utilizar. La demanda independiente se ve afectada por las condiciones del mercado que están fuera del control de la función de operación, por lo tanto, es independiente de las operaciones. La demanda dependiente se relaciona con la demanda de otro artículo y el mercado no la determina independientemente, por ejemplo productos que se integran de partes y ensamblajes, la demanda de estos componentes depende de la demanda del producto final.

Se disponen de diferentes políticas de inventario como la de revisión periódica, en la que los niveles de inventario se observan a intervalos de tiempo iguales, si al final del período de revisión el nivel de inventario es mayor que un punto de reorden, no se toma ninguna acción; de lo contrario se coloca una orden para llevar el inventario hacia el nivel objetivo deseado. Por otro lado la política de revisión continua, el inventario se monitorea permanentemente y siempre se colocan órdenes de tamaño igual a la diferencia entre el nivel de inventario objetivo y el nivel de inventario disponible, si este último cae por debajo del punto de reorden. La política de cantidad fija de reorden, es similar a la política de revisión continua con la excepción que las unidades se sacan del inventario una a la vez. Otra política es la de Stock Base, bajo esta política se establece el nivel de reorden igual al nivel de inventario objetivo, y las órdenes se colocan después de cada retiro del inventario. Consecuentemente, la suma de la cantidad de inventario y la cantidad que está siendo ordenada debe ser siempre igual al nivel de inventario objetivo. El nivel máximo de inventario es conocido como el nivel de stock de base, Hopp y Spearman (2008).

3. Metodología de gestión de existencias

La metodología propuesta busca integrar la clasificación de productos con las técnicas de pronóstico para establecer un módulo de gestión de demanda para una organización y luego integrarla con un módulo de fijación de políticas de inventario. A continuación se describirá las generalidades de las tres partes principales de la metodología presentada en la Figura 1.

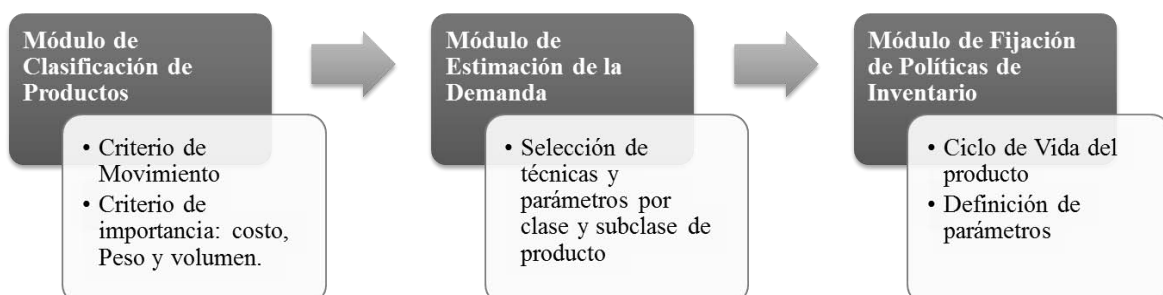


Figura 1. Metodología para la gestión de existencias.

3.1. Módulo de Clasificación de Productos

Para realizar el proceso de clasificación se toman dos criterios globales. El primero por la cantidad de movimiento que ha presentado el producto garantizando de esta manera suavizar los efectos de la alta variabilidad de la demanda, el objetivo es definir un número de clases que deben garantizar la identificación de cada producto desde el movimiento nulo hasta el de mayor frecuencia dependiendo del tipo de industria, y puede ser obtenido de un análisis de frecuencias de la información disponible. El segundo es un criterio de importancia, el cual se considera como un criterio compuesto de tres variables, una de carácter económico y dos de carácter físico, con esto se protege a la organización de racionalizar sus espacios de almacenamiento. La primera toma el costo, para las variables físicas se toma el peso y el volumen. Para unificarlas se ponderan por el valor de ventas de los datos históricos y son afectadas por un porcentaje de composición, en donde el costo lleva un peso de 70% de la calificación y los otros dos criterios un 30% del peso relativo. Una vez clasificado en este orden, cada una de estas clases se debe validar para eliminar aquellas clasificaciones que a juicio de los analistas no se deben incluir y si se deben reclasificar productos de acuerdo al mismo principio, de esta manera incluyendo la experticia de los analistas del sistema. En la Figura 2 se muestra el flujograma de la metodología de clasificación de productos propuesta, obteniendo como producto final la agrupación en clases.

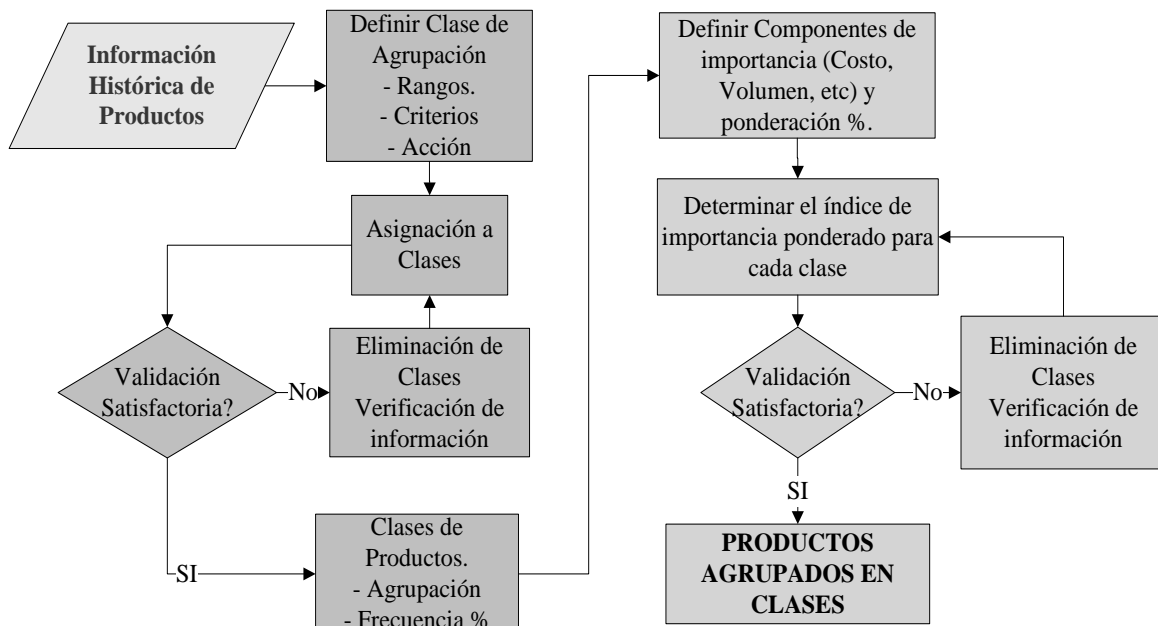


Figura 2. Módulo de clasificación de productos.

3.2. Módulo de Estimación de la Demanda

Para la estimación de la demanda de los productos es necesario establecer que método de pronóstico utilizar para cada una de las clases obtenidas, para esto se plantean unas reglas de decisión que permitan la asignación del método de pronóstico de acuerdo a la clase (factor de importancia ponderada) y una medida de variabilidad de la demanda, en este caso el coeficiente de variación que es la razón entre la desviación estándar y la media de una muestra de datos. Primero es necesario determinar un método de pronóstico para cada clase según los resultados de un análisis de los principales productos de cada una basados en los resultados de una herramienta computacional de uso específico. Para luego establecer el impacto del coeficiente de variación en el comportamiento de los parámetros de cada método definido, y finalmente establecer las reglas de decisión.

Los métodos de pronóstico a emplear son los basados en los componentes de permanencia, tendencia y estacionalidad como lo son las técnicas de Suavización Exponencial

(SE), Aditivas (EA) y Multiplicativas (EM), lineal Aditiva (LA) y multiplicativa (LM), por otro lado, técnicas de poca participación como los modelos lineales (ML) o los de datos discretos (DD) se pierden en el momento de hacer la proyección. Estas técnicas de suavización exponencial son las que se enmarcan en el contexto de la suavización triple y de grado superior, basadas en el mismo principio de volver a suavizar la componente base. Los modelos de suavización exponencial simple y doble pueden tratar con casi cualquier tipo de datos, siempre y cuando estos datos sean no estacionarios. Este método está basado en tres ecuaciones principales, una para el promedio, otra para la tendencia y otra para la estacionalidad.

Para la escogencia de la técnica se debe seleccionar una para cada elemento del análisis, es decir, para cada producto de cada clase, o seleccionar una técnica para cada clase con la selección de parámetros lo más generales posibles. En general, se puede decir que con la primera opción se reduce los errores de los pronósticos pero se complica su cálculo, no sólo por lo que representa su ejecución computacional, si no por las implicaciones en las revisiones de los parámetros que se requieren en ciertas técnicas de pronósticos como los de suavización exponencial aditiva y multiplicativa. Con la segunda opción se aumenta los errores del pronóstico, pero desde luego se simplifica considerablemente el cálculo de las estimaciones en términos de esfuerzo humano y computacional.

Esta metodología se debe realizar para los productos en cada uno de los eslabones de la cadena, en este sentido se considera oportuno descargar en cada eslabón el proceso de estimación de la demanda, debido a que el establecimiento de los parámetros cambia en cada uno, ya que la demanda no necesariamente es la misma y es muy sensible a las variaciones por cada producto. Por otro lado, se mitigan los efectos de permanencia, tendencia y estacionalidad al considerar por separado los valores de la demanda, razón muy importante a la hora de hacer las estimaciones, pero también la clasificación de los pedidos de la siguiente manera: *Pedidos ordinarios* son aquellos que se enmarcan dentro del pronóstico general de la organización, cada eslabón de la cadena puede hacer observaciones de las estimaciones a futuro o bien porque consideran que no se pueden ejecutar o bien porque se consideran menores a la información que disponen. *Pedidos especiales* son aquellos que trascienden las expectativas del pronóstico, pueden incluir productos sin estimaciones o en realidad nuevos productos, o pueden obedecer a demandas coyunturales que no ameritan ser consideradas en las demandas ya que salen como punto atípico.

En la Figura 3 se muestra el flujograma de proceso para aplicar esta metodología, integrándose con los resultados de la metodología de clasificación, su resultado es el pronóstico de la demanda por cada eslabón de la cadena.

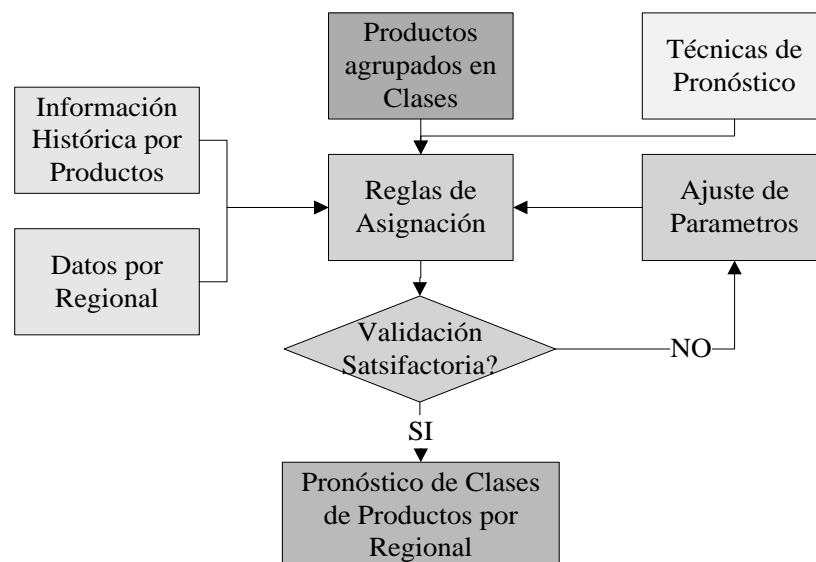


Figura 3. Módulo de estimación de demanda.

3.3. Módulo de Asignación de Políticas

Para la asignación de las políticas de inventario se analiza el ciclo de vida de los productos con el fin de establecer la importancia relativa de los mismos e identificar la fase en la que se encuentran, que puede ser de crecimiento, estabilidad o declive. Se definen los componentes de Tipo A y B que reflejan la importancia relativa del producto dentro de la clase. En la Figura 4 se definen las categorías de los productos Clase y Tipo dentro del ciclo de vida para 4 clases, es decir mientras las clases 1 y 2 se dan en la etapa de estabilidad, la clase 3 se da en la parte de crecimiento y la clase 4 en la etapa de declive. Los principales criterios a definir en las políticas de inventario son: cantidad a pedir, tiempo de pedido y nivel de seguridad. Cada uno de estos se da por cada clase y tipo de acuerdo a la definición anterior.

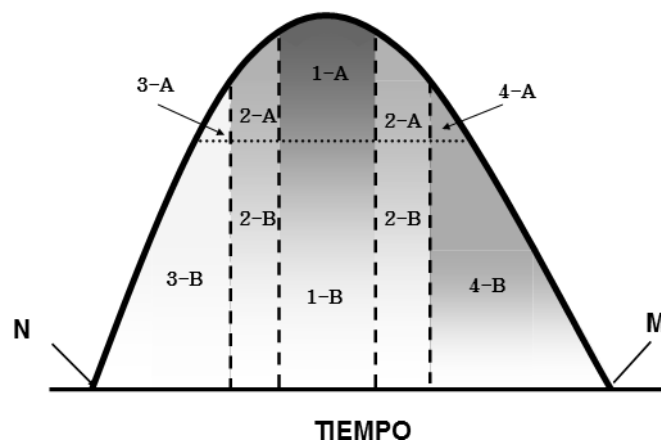


Figura 4. Clases de producto y ciclo de vida.

Nivel de Reposición R: es la cantidad a solicitar en cada pedido, involucra el cubrimiento de la demanda en el intervalo de planeación (período del pronóstico) con aspectos relativos a la categoría es decir si es A o B. En este sentido se tiene: para Tipo A que es un ítem de mayor importancia en términos de precio, costo, volumen y peso, la cantidad obedece entonces a las restricciones que se tengan de estos componentes según (1).

$$q_j^* = \text{Min} \left\{ \sum_j a_{ij} q_j \leq b_i, f_j \right\} \quad (1)$$

Dónde q_j^* es la cantidad a pedir del producto j , a_{ij} es la contribución de la característica i por parte del producto j , estas características son las anteriormente mencionadas: precio, costo, volumen y peso, la inclusión de la restricción de capacidad de manufactura, q_j es la cantidad posible dentro de la restricción o característica i , b_i es la disponibilidad o meta de la característica i , y f_j es la estimación o pronóstico del producto j .

Para Tipo B: dado que es un ítem de menor importancia en términos de las características de clasificación se toma como restricciones las de condiciones de manufactura y costo.

Nivel de Reposición Imáx: es la cantidad a pedir hasta completar un nivel deseado de existencias en cada ítem, para su cálculo se basa en un modelo similar al anteriormente señalado, y consideran las mismas condiciones del nivel de reorden R , es decir, se considera la categoría si es A o B.

Nivel de Reposición Bajo Pedido: se produce la cantidad solicitada por el pronóstico, desde luego que se puede sensibilizar esta cantidad dada las condiciones propias de la manufactura, si hay lotes técnicos mínimos, ROP (EOQ para la manufactura), etc.

Tiempo de Pedido Mix: considera revisiones cada vez que las existencias lleguen al nivel de reorden y e calcula como la demanda promedio sobre el tiempo de reposición; o revisiones para cada período en que se hace el proceso de planeación.

Tiempo de Pedido Periódico: se realiza cada vez que se haga el proceso de

planificación, este normalmente debería ser mensual, pero desde luego se puede aumentar o disminuir según la conveniencia de la organización.

Stock de seguridad en función de servicio: se calcula según (2) dependiendo del tipo de producto, esto es, si es A ó B, para el cálculo de estos criterios también se debe considerar la demanda promedio y la desviación de la demanda.

$$SS_j = K_j \sigma_j \quad \forall j \quad (2)$$

Donde K_j es el nivel de servicio para cada tipo de producto, se sugiere que este se fije en términos del intervalo de confianza así: si es tipo A, será 1.97 para el 95% de confianza ó 2.57 si es el 99% de confianza; si es tipo B, entonces será de 1.64 para el 90% de confianza o 1.97 en el caso del 95% de confianza, σ_j es la desviación estándar de la demanda del producto j.

Seguridad mínima: este valor de seguridad depende del promedio de la demanda por un factor de seguridad y desde luego del tipo de producto, ya que no puede ser el mismo para un producto estable, como para uno que este en crecimiento u otro que este en declive. En el caso de un producto estable (Clase 2-B) puede ser un 30% de la demanda promedio, mientras que para 3-A puede ser 15%; 3-B del 25%, 4-A igual a 5% y 4-B del 10%. Desde luego estas políticas pueden ajustarse a condiciones cambiantes del sistema a nuevas restricciones, o a valores paramétricos distintos en cada circunstancia.

4. Resultados

La metodología que se plantea fue implementada en una empresa líder en Colombia del sector industrial en la fabricación de tuberías y productos polivinilos, con una cobertura del mercado nacional e internacional, comparando el desempeño y confiabilidad de la información durante un período de seis meses utilizando en paralelo esta metodología propuesta con el uso de una aplicación del tipo ERP. La empresa cuenta con un portafolio de productos superior a 3700 S. K. U, con 3 plantas de producción, 14 centros de distribución a nivel nacional y una clientela que se aproxima a los 3500 clientes entre públicos y privados. El sistema inicialmente presentaba una ocupación total de la capacidad de producción, dejando demanda insatisfecha, esto quiere decir que el cuello de botella es la capacidad de las plantas y no el mercado, entonces los pronósticos deben servir para regular la utilización de las capacidades de las distintas plantas y mejorar la respuesta al cliente interno y externo. La efectividad del pronóstico estaba cercana al 66% de forma agregada (grupos de productos), se poseía un cubrimiento de existencias para cumplir la demanda de 30 días, el cual debía reducirse. Esto indica que se debe disminuir el inventario sin afectar el nivel de servicio que se estima cualitativamente en un 80%..

Se inicia con la clasificación teniendo en cuenta los criterios de movimiento y de importancia, basados en estadísticas de 2 años en principio se tiene 18 categorías, eliminando las clases 5 y 6 por no contar con demanda en los últimos meses. Los movimientos establecen 6 categorías de las cuales sólo se consideran cuatro con el fin de realizar los pronósticos. La clase 1 representa los productos estables en el mercado (demanda en al menos el 87.5% de los períodos). La clase 2 representa los elementos que están entrando o saliendo de la etapa de estabilidad (demanda entre el 50 y 85% de los períodos). La clase 3 son los productos que están en la fase de crecimiento, es decir aquellos que no tienen demanda más allá del 50% de los períodos, ésta preferencialmente se presenta en los últimos períodos del análisis. La clase 4 son para los que se ubican en la etapa de declive, es decir demandas en menos del 50% de los períodos, principalmente en los períodos iniciales del análisis. La clase 5 es para productos sin movimiento en el último año y deben entrar en cuarentena o período de observación. La clase 6 es para elementos sin demanda que se sugiere discontinuarlos.

El criterio de importancia se basa en el costo, el peso y el volumen, si estos atributos son altos, el producto debe estar en una clasificación más rigurosa, es decir, se debe ejercer mayor control sobre ellos. Para este caso se definieron dos tipos A y B. Tipo A son aquellos en donde la contribución marginal ponderada y acumulada es menor al 95%. Tipo B para aquellos con una contribución marginal ponderada mayor al 95%. Es por ello que se decide trabajar con dos reclasificaciones en importancia Clase A y Clase B con valores de participación en la importancia hasta el 95% acumulado para la clase A y del 100% acumulado para la clase B.

Para el módulo de estimación de la demanda se toma una muestra de datos para las clases 1 a 4. Estos valores representan el 10% de la Clase para el Tipo A y el 3% de la Clase para el Tipo B. Los métodos de pronósticos sugeridos se presentan en la Tabla 1 de acuerdo al análisis realizado a los datos del caso de aplicación. Para evidenciar las mejoras del proceso de integrar las técnicas de pronósticos y las políticas de inventario, se puede decir que en el primer caso se hicieron pruebas como las que se muestran en la Tabla 2, como se observa algunos productos se predicen mejor y otros no, sin embargo cuando se realizó la valorización de las estimaciones se tiene que a medida que el proyecto se consolida dada su característica dinámica, las mejoras registradas en términos de MAD se dan en promedio para el último trimestre de validación en un 10%, como lo muestran los resultados de la Tabla 3.

Tabla 1. Asignación de la técnica de pronóstico y sus parámetros a cada clase.

<i>Clase</i>	<i>Técnica</i>	<i>Parámetros*</i>
Clase 1 – A	Suavización Exponencial Simple	Si $CV < 1 \rightarrow \alpha = 0,0001$; Si $CV < 2 \rightarrow \alpha = 0,4$; Si $CV < 3 \rightarrow \alpha = 0,0001$; d.l.c. $\alpha = 0,7$
Clase 1 – B	Suavización Exponencial Simple	Si $CV < 1 \rightarrow \alpha = 0,3$; Si $CV < 2 \rightarrow \alpha = 0,45$; Si $CV < 3 \rightarrow \alpha = 0,01$; d.l.c. $\alpha = 0,15$
Clase 2 - A	Suavización Exponencial Simple	$\alpha = 0,001$
Clase 2 - B	Suavización Exponencial Simple	Si $CV < 1 \rightarrow \alpha = 0,00001$; Si $CV < 2 \rightarrow \alpha = 0,0001$; d.l.c. $\alpha = 0,999$
Clase 3 – A	Promedio Móvil Doble	Si $CV < 2 \rightarrow k = 2$; Si $CV < 3 \rightarrow k = 7$; d.l.c. $k = 4$
Clase 3 – B	Promedio Móvil Doble	Si $CV < 2 \rightarrow k = 7$; Si $CV < 4 \rightarrow k = 5$; d.l.c. $k = 3$
Clase 4 – A	Promedio Móvil Doble	$k = 3$
Clase 4 – B	Promedio Móvil Doble	Si $CV < 1 \rightarrow k = 3$; Si $CV < 3 \rightarrow k = 2$; d.l.c. $k = 5$
Clase 5 – A y B	Promedio Móvil Doble	Si $CV < 1 \rightarrow k = 9$; Si $CV < 3 \rightarrow k = 4$; d.l.c. $k = 2$

* α es la constante de suavización exponencial. CV es el coeficiente de variación como medida de variabilidad, cociente de la desviación sobre la media. d.l.c. = de lo contrario. k es el número de datos para promedio móvil simple y doble.

Para asignar las políticas de inventario a cada producto se debe analizar los procesos de clasificación ya mencionados. Para ello se toma como base el ciclo de vida de los productos, en la Figura 4 se sintetizan los procesos del ciclo, en donde se definen dos hitos, el nacimiento y muerte, todo lo demás se enmarcan en las áreas de crecimiento, estabilidad y declive del producto, cada uno de los parámetros son establecidos en la Tabla 4 definiendo el tipo de política

para cada clase de producto.

Tabla 2. Ejemplos de comparación por SKU. Metodología tradicional vs propuesta.

<i>Mes</i>	<i>Código</i>	<i>Tipo</i>	<i>Pronóstico Tradicional</i>	<i>Pronóstico Propuesto</i>	<i>Desviación Pronóstico Tradicional</i>	<i>Desviación Pronóstico Propuesto</i>
Julio	T129845	TUBERIAS	91151,8	95097,0	40545,6	44490,9
	T58337	TUBERIAS	70654,3	30054,9	27792,8	7806,7
	T391407	TUBERIAS	77305,2	51001,8	56642,4	30339,0
				Desviación Mejora	41660,3	27545,5
Agosto	T129845	TUBERIAS	61866,4	81753,1	59757,8	79644,5
	T58337	TUBERIAS	58951,3	37397,6	35850,0	14296,3
	T391407	TUBERIAS	23950,2	41901,2	4212,6	22163,6
				Desviación Mejora	33273,5	38701,5
Septiembre	T129845	TUBERIAS	63564,1	57859,4	10849,3	5144,6
	T58337	TUBERIAS	52612,3	33109,7	24547,1	5044,5
	T391407	TUBERIAS	32386,1	35251,7	4090,4	6956,0
				Desviación Mejora	13162,3	5715,0

Tabla 3. Asignación de la técnica de pronóstico y sus parámetros a cada clase.

<i>Mes</i>	<i>MAD-anterior</i>	<i>MAD-nueva</i>	<i>Mejora</i>
Julio	2633834,7	2612507,1	0,8%
Agosto	2680345,6	2237873,2	16,5%
Septiembre	2404336,9	2078521,4	13,6%
PROMEDIO	2572839,1	2309633,9	10,2%

Tabla 4. Asignación de políticas de inventario.

<i>Clase de Producto</i>	<i>Cantidad a Pedir</i>	<i>Tiempo de Pedido</i>	<i>Nivel de Seguridad</i>
Clase 1 – A	Nivel de Reposición R	Mix: Continua - Periódica	S. S. basada en nivel de servicio
Clase 1 – B	Nivel de Reposición R	Mix: Continua - Periódica	S. S. basada en nivel de servicio
Clase 2 – A	Nivel hasta Imáx	Mix: Continua - Periódica	S. S. basada en nivel de servicio
Clase 2 – B	Nivel hasta Imáx	Mix: Continua - Periódica	Seguridad Mínima
Clase 3 – A	Bajo Pedido	Periódica: Mensual	Seguridad Mínima
Clase 3 – B	Bajo Pedido	Periódica: Mensual	Sin Stock de Seguridad
Clase 4 – A	Bajo Pedido	Periódica: Mensual	Sin Stock de Seguridad
Clase 4 – B	Bajo Pedido	Periódica: Mensual	Sin Stock de Seguridad

Por otro lado se puede observar en la Figura 5 la reducción de las existencias de producto terminado y de materiales debido a la mejora en la estimación de la demanda con el método de pronóstico y la clasificación de inventario descritos en los apartados (3.2) y (3.3). Se tenía un promedio de 5.176 toneladas/ mes y se pasó a un valor de 4.923 toneladas/mes, lo que significa un ahorro de 253 toneladas/mes que es un valor aproximado al 5% en el primer trimestre de uso de la metodología. De esta manera se evidencia la mejora en procesos en la disminución de manipulación de inventario, transporte de productos, entre otros aspectos operativos, y también el ahorro en costos que se genera a partir de la consolidación del proceso. En la Figura 5 se muestra comparativamente la evolución de las ventas, la producción y el inventario, en la cual se observa una tendencia decreciente del inventario a un punto de estabilización, al igual que una nivelación de la producción.

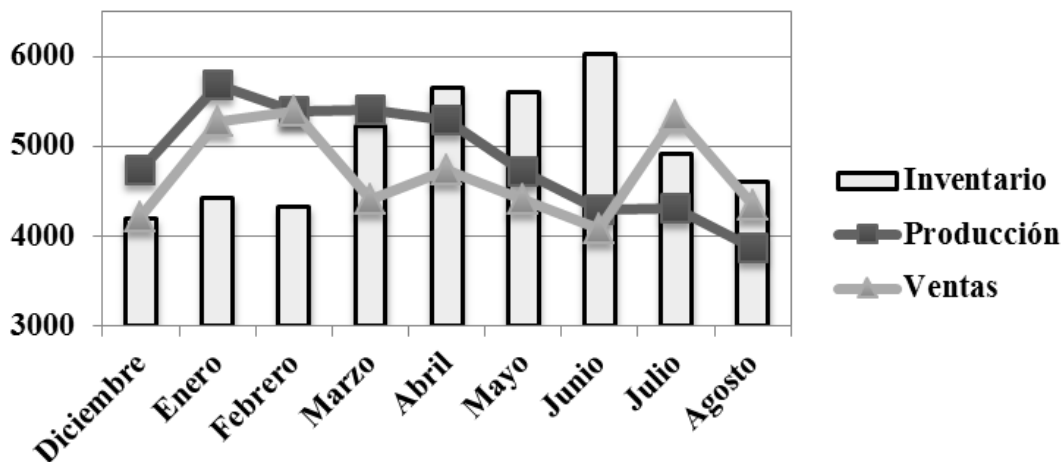


Figura 5. Comparativo ventas, producción e inventario fase de implementación. (en toneladas).

5. Conclusiones

La estructura para la mejora de los procesos logísticos inicia con la clasificación de los productos, luego con la definición de la metodología de pronóstico y concluye con la fijación de la política de inventario. Los criterios para clasificar los productos deben conciliar las características de rotación con los de valor, por lo tanto se establecen los criterios de movimiento y de importancia. Con el primero se definen las clases y con el segundo el tipo. En el caso particular de aplicación, se encontró que existe un porcentaje significativo de productos (posiciones de inventario) con demanda cero en el horizonte de planeación o en el último año de dicho período, los cuales se les debe analizar su salida de inventario o al menos establecer un período de vigilancia para en un futuro sean eliminados del maestro de materiales.

Los pronósticos son específicos para cada producto pero esto conlleva a un manejo complejo del día a día, entonces dependiendo de la clasificación se decide establecer un modelo específico para ellos. De esto se tienen 8 modelos distintos que corresponde a las cuatro clases y los dos tipos. Las técnicas empleadas son la de suavización exponencial doble, suavización exponencial simple, promedio móvil doble y promedio móvil simple, con diferentes parámetros dependiendo del tipo. Para atender el sistema de estimación de la demanda en la cadena logística se sugiere hacer una sola estimación total y aplicar un factor por cada producto para cada una de las regionales, esto reduce el margen de error en la estimación y disminuye los niveles de existencias.

Las políticas de inventario sugeridas dependen del sistema de clasificación y consideran las cantidades a pedir, la frecuencia del pedido y el nivel de seguridad a mantener. Las políticas son más exigentes para la clase 1 que para la 2, para la 3 y 4 se basa en producción bajo pedido. Clase 1 – A y B: se tiene un nivel de reposición (R) con revisión continua y al menos una vez mensual y un nivel de seguridad basado en el nivel de servicio, varía de tipo A y B. Clase 2 – A y

B: se pide hasta un inventario máximo (Imáx), revisando existencias mensualmente y con un nivel de seguridad basado en el nivel de servicio, varía de tipo A y B. Clase 3 – A y B: se trabaja bajo pedido, con revisión mensual y con un nivel de seguridad mínimo y que depende del tipo A y B. Clase 4 – A y B: bajo pedido, con revisión mensual y sin stock de seguridad.

Con la aplicación de esta metodología de clasificación de productos, estimación de la demanda y fijación de políticas de inventario se pueden lograr mejoras en procesos que ayuden la disminución de manipulación de inventario, transporte de productos y también el ahorro en costos. Una posible línea de investigación para continuar con este trabajo es analizar el comportamiento de diferentes productos como los perecederos en los cuales el tiempo de almacenamiento y la rotación son variables importantes a tener en cuenta para la clasificación y gestión de políticas de inventario; también los productos en grandes superficies para los cuales es necesario establecer metodologías de clasificación y asignación para su distribución.

Referencias Bibliográficas

- Arora, K.** *Comprehensive Production and Operations Management*. Laxmi Publications New Dehli, 2005.
- Askin, R., Goldberg, J.** *Design and Analysis of Lean Production Systems*. John Wiley & Sons Inc, United States of America, 2002.
- Ballou, R.** *Business Logistics/Supply Chain Management*. Prentice Hall, New Jersey. 2003
- Bhalla, V.** *Working Capital Management, Text and Cases*. Anmol Publications, India. 2000.
- Borisov, V., Bulanov, A., Orlova, T., Kondratov, D.** (2008) Forecasting engineering manufacture operations with a view to their innovative development, *Studies On Russian Economic Development*, 19- 4, 350-357.
- Chen, J.** (2011) Peer-estimation for multiple criteria ABC inventory classification, *Computers & Operations Research*, 38-12, 1784–1791.
- Chu, C., Liang, G., Liao, L. C.** (2008) Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification, *Computers & Industrial Engineering Science Direct*, 55-4, 841-851.
- Hadi-Vencheh, A.** (2010) An improvement to multiple criteria ABC inventory classification, *European Journal of Operational Research*, 201, 962–965.
- Heizer, J., Render, B.** *Principles of Operations Management*, Prentice Hall, New Jersey, 2010.
- Hopp, W., Spearman, M.** *Factory Physics. Foundations of Manufacturing Management* McGraw Hill, Estados Unidos, 2008
- Méndez, G.** *Gerencia de Manufactura*, Fondo de Publicaciones Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia, 2003.
- Ng, W.** (2007) A simple classifier for multiple criteria ABC analysis, *Journal of Operational Research*, vol. 177, 344–353.
- Partovi, F., Anandarajan, M.** (2002). Classifying inventory using an artificial neural network approach, *Computers and Industrial Engineering*, 41, 389–404.
- Ramanathan, R.** (2006) ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization, *Computers and Operations Research*, 33, 695–700.
- Rezaei, J., Dowlatshahi, S.** A rule-based multi-criteria approach to inventory classification, *International Journal of Production Research*, 48-23, 7107–7126.
- Torabi, S., Hatefi, S., Saleck, B.** (2012) ABC inventory classification in the presence of both quantitative and qualitative criteria, *Computers & Industrial Engineering*, 63- 2, 530–537.
- Tsai, C., Yeh, S.** (2008) A multiple objective particle swarm optimization approach for inventory classification, *International Journal of Production Economics*, 114, 656–666.