

# DISEÑO DE UN MODELO DE INVENTARIOS PARA LA OPERACIÓN LOGÍSTICA DE UNA COMPAÑÍA FARMACÉUTICA

*Santiago Aguirre Mayorga\**  
*Carolina Franco Téllez\*\**

**Resumen:** En este artículo se analiza la problemática encontrada en el proceso de planeación de demanda e inventarios de una compañía multinacional perteneciente al sector farmacéutico en Bogotá, Colombia. Se parte de un diagnóstico cuantitativo de los procesos e indicadores logísticos para luego analizar y proponer un modelo de inventarios resultante de la modificación de la heurística propuesta por Hopp, Spearman y Zhang [1997] para ser adaptado a las políticas y realidad organizacional de la empresa. Finalmente se presenta la aplicación del modelo propuesto sobre unos datos pilotos y los resultados que se presentaron en términos de reducción de existencias y mejoramiento del nivel de servicio.

**Palabras clave:** optimización de inventarios, pronósticos, logística, industria farmacéutica.

**Abstract:** In this paper the problems encountered in the supply and demand planning process in a multinational pharmaceutical company in Bogotá, Colombia, are analyzed. It begins with a qualitative diagnosis of the key process logistics indicators in order to analyze and propose an inventory model as the result of the use of the heuristic proposed by Hopp, Spearman y Zhang [1997] with the intention to adapt it to the politics and conditions of an specific firm. Finally, the results of the application of the model to pilot data are presented showing an important reduction in inventories and increases in the service level.

**Key words:** inventory optimization, forecasting, logistics, pharmaceutical industry.

---

\* *Ingeniero Industrial, Pontificia Universidad Javeriana. Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes. Profesor Asistente, Departamento de Procesos Productivos, Pontificia Universidad Javeriana. Correo electrónico: saguirre@javeriana.edu.co.*

\*\* *Ingeniera Industrial, Pontificia Universidad Javeriana. Correo electrónico: carofrancotellez@hotmail.com*

## INTRODUCCIÓN

La dinámica comercial propia de un entorno económico globalizado exige a las empresas de sectores económicos como la industria farmacéutica, tener todos sus procesos claramente definidos y controlados para garantizar un abastecimiento oportuno de sus productos a clientes globales y de proveedores en múltiples ubicaciones. La logística constituye entonces un factor clave para el éxito en esta labor al apoyar las áreas comerciales y de mercadeo para lograr el efectivo posicionamiento de cada tipo de medicamento a través de un adecuado nivel de servicio, minimizando la inversión en inventarios.

Para lograr lo anterior, la gestión logística debe alcanzar el equilibrio entre la oferta y la demanda a través de políticas y decisiones que deben estar soportadas en el análisis de datos y factores donde se mezclan la objetividad con la predicción. Es por esto que para evitar la escasez de productos hay aspectos más trascendentales que el mismo tiempo de entrega, como son los pronósticos de ventas y los pedidos que se envían a los proveedores, que deben estar desarrollados con base en políticas óptimas de control de inventarios e información fiable y actualizada que garantice una adecuada gestión.

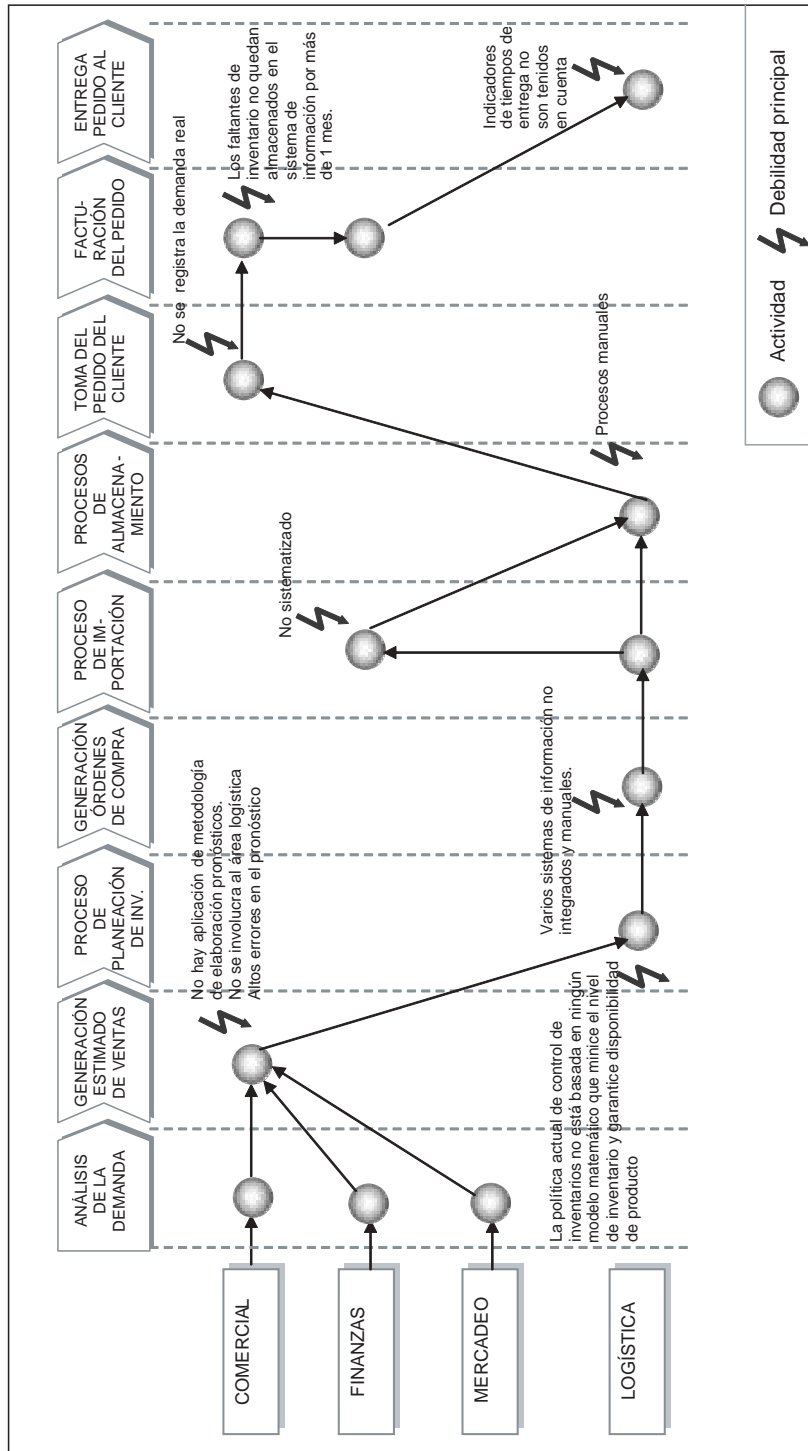
### 1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

El proceso logístico de un laboratorio farmacéutico tiene como factor clave de éxito la entrega a tiempo y completa de los pedidos, para lo que se debe contar con disponibilidad de producto para la venta sin tener exceso de inventario, ya que podría convertirse en obsoleto por tratarse de artículos perecederos. En el caso analizado se encontró una situación en la cual se presentaron a lo largo del periodo de tiempo estudiado artículos con exceso de inventarios con riesgo de obsolescencia y otros con escasez, lo que afecta indudablemente el servicio que se presta a los clientes. A través del diagnóstico realizado se concluyó que las decisiones relacionadas con el inventario de seguridad, la cantidad de artículos a pedir y el momento de pedir no se estaban tomando basándose en un modelo de inventarios apropiado que soportara adecuadamente estas decisiones.

Lo anterior se ve reflejado en los procesos relacionados con la cadena de abastecimiento interna de la empresa (Figura 1) que inician con la elaboración del pronóstico de ventas desarrollado por el área comercial como resultado del análisis de las ventas de los periodos pasados y de multiplicar éstas por un factor de incremento ponderado de acuerdo con las metas de ventas fijadas por la casa matriz. Esto se realiza sin técnicas ni modelos cualitativos de análisis de tendencia. El resultado de este proceso es un estimado de ventas que es enviado al área logística.

Con esta información el área logística realiza el proceso de planeación con el objetivo de calcular la cantidad adecuada a pedir de cada artículo para suplir la demanda, controlando así los niveles de inventa-

Figura 1. Diagrama de Flujo de funciones y áreas de los procesos de la cadena de abastecimiento del laboratorio farmacéutico.



Fuente: elaboración propia de los autores.

rio y faltantes. Posteriormente se realizan los procesos de importación que culminan con la entrega del producto terminado, nacionalizado y disponible para la venta; el siguiente proceso es el de almacenamiento que se desarrolla a través de un operador logístico.

Por otro lado, la fuerza de ventas realiza la gestión comercial para iniciar el proceso del ciclo de la orden de pedido, donde interactúan las áreas de tesorería, administración de ventas y logística, que llevan a cabo las actividades de facturación, preparación y despacho del pedido realizado por el cliente.

En el proceso anterior se detectaron algunas debilidades relacionadas principalmente con la falta de integración de las áreas para facilitar el flujo de información que no era efectivo ni congruente y con la carencia de un modelo de inventarios cuantitativo. Además, se identificó la existencia de múltiples procesos manuales que no estaban apoyados por un sistema de información integrado que le permitiera al equipo de trabajo alejarse de las tareas operativas y dedicarse al análisis y a la estrategia.

En cuanto a la realización de pronósticos de ventas, éstos no eran confiables ya que se analizaban las proyecciones con información de las ventas y no de la demanda real. Para que sea confiable cualquier técnica cuantitativa de pronósticos, se requiere de datos exactos, específicamente de información de la demanda, no de las ventas o despachos ya que éstos pueden ser menores o iguales debido a que constituyen una subestimación de la demanda por causas de faltantes en el inventario u otras ineficiencias en el proceso logístico.

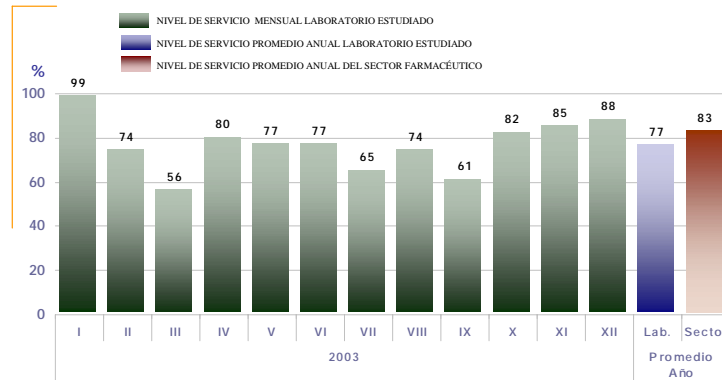
En términos de indicadores, se encontró que el promedio del nivel de servicio<sup>1</sup> de la compañía en Colombia en el 2003 se encontraba en el 77% (Figura 2), el porcentaje de faltantes<sup>2</sup> sobre las ventas brutas era en promedio de 4,3% y el indicador de semanas de inventario fue en promedio de 17,10 semanas de inventario por mes (Figura 3). Comparados con los indicadores promedio del sector [IAC Colombia, 2003] son en todos los casos desfavorables para el laboratorio analizado como se puede observar en las Figuras 2 y 3.

El proceso de proyección de la demanda también presenta indicadores desfavorables, como se observa en la Figura 4. En efecto, el promedio de la desviación del pronóstico del laboratorio está en el 45% para el año 2003, mientras que en el sector farmacéutico el promedio oscila alrededor del 13%.

<sup>1</sup> Corresponde al porcentaje de pedidos entregados completos, entendiéndose por un pedido completo el que se haya facturado de acuerdo con lo que el cliente haya demandado; es también llamado indicador Order Fill Rate (OFR).

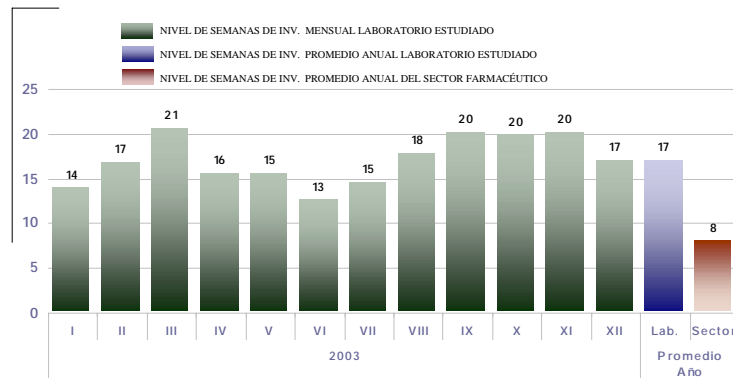
<sup>2</sup> Corresponde a la demanda insatisfecha por escasez de inventarios.

Figura 2. Nivel de servicio del laboratorio farmacéutico analizado. 2003.



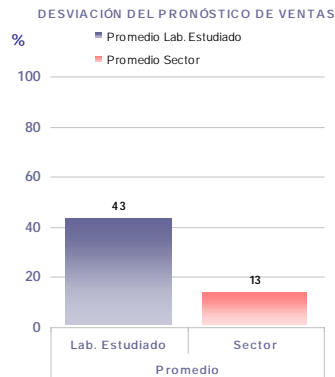
Fuente: [IAC Colombia, 2003].

Figura 3. Semanas de inventario del laboratorio analizado. 2003.



Fuente: [IAC Colombia, 2003].

Figura 4. Desviación del pronóstico de ventas del laboratorio analizado. 2003.



Fuente: [IAC Colombia, 2003].

Lo anterior quiere decir que el plan de requerimientos de producto terminado para el 2003 se desarrolló con supuestos alejados de la realidad, lo que constituye una causa determinante de los *excesos de inventario* o *faltantes*. El modelo de inventarios que se utilizó en el laboratorio hasta diciembre del 2003, no aplicaba ninguna formulación matemática, generando las anteriores cifras que manifestaban la necesidad latente de la elaboración de una efectiva política de inventarios que minimizara la inversión al tiempo que mejorara el nivel de servicio al cliente en términos de pedidos completos.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE INVENTARIOS PROPUESTO

El modelo de gestión de inventarios propuesto se abordó desde dos perspectivas: la primera consistió en la estructuración matemática o la formulación del modelo y la segunda conformada por todos aquellos procedimientos que permitan que el sistema de gestión funcione engranando las herramientas tecnológicas con los procesos y funciones del personal del área. Paralelamente se diseñaron criterios prácticos y puntos de control para asegurar una adecuada implementación del modelo.

### 2.1. SELECCIÓN DEL MODELO

De acuerdo con el diagnóstico del sistema de inventarios existente y con los parámetros que tiene el laboratorio para desarrollar la planeación de sus inventarios, se evaluaron algunos sistemas de inventarios. De esta revisión se escogió el modelo propuesto por Hopp, Spearman y Zhang [1997]. Estos autores desarrollaron una heurística para la gestión de inventarios de una firma con características similares al caso analizado, como se puede observar en el Cuadro 1, en donde se realiza un parangón entre los principales supuestos del modelo seleccionado con las características de la gestión de inventarios del laboratorio farmacéutico objeto de estudio.

Cuadro 1. Validación del modelo propuesto con las características del laboratorio farmacéutico analizado.

<b>Supuestos del modelo de Hopp, Spearman y Zhang [1997]</b>	<b>Características de la gestión de inventarios del laboratorio analizado</b>
Gran número de productos. El modelo se desarrolló para 30.000 productos.	La empresa analizada contaba para el 2003 con 400 diferentes referencias de productos.
Demanda aleatoria	Para plantear la función de distribución que constituye la base en la formulación del modelo se tuvieron en cuenta las siguientes características de la demanda: <ul style="list-style-type: none"> <li>• La demanda no ocurre por un solo canal, sino que tiene diversidad de fuentes o de clientes.</li> </ul>

Continuación cuadro 1.

<b>Supuestos del modelo de Hopp, Spearman y Zhang [1997]</b>	<b>Características de la gestión de inventarios del laboratorio analizado</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los tiempos de arribo de los pedidos para cada producto se pueden asumir como exponenciales, es decir que no tienen memoria.</li> <li>• Se cuenta con los datos de ventas, mas no con el de la demanda real de la compañía, por lo que no puede haber certeza sobre los valores de desviación.</li> <li>• Considerando lo anterior, se eligió la distribución de Poisson como función de distribución para propósitos de modelaje del sistema de inventarios del laboratorio. De acuerdo con Ploss [1987], la distribución de Poisson es conveniente para los cálculos del punto de orden y de ciertos tipos de demanda porque tiene la propiedad de que la desviación estándar es siempre igual a la raíz cuadrada del valor promedio.</li> </ul>
Pedidos por lotes constantes	El modelo plantea una cantidad de pedido constante en cada momento que se llegue al punto de reorden; sin embargo, si los datos con los que se alimenta el modelo (como el pronóstico de demanda) varían, entonces automáticamente se cambian las cantidades de pedido y se proponen otras que también se consideran constantes.
Múltiples proveedores	El laboratorio analizado tiene diferentes proveedores ubicados en diferentes partes del mundo.
Tiempo de entrega constantes y conocidos	<p>Los productos de la empresa analizada son en su gran mayoría importados y los tiempos de entrega se consideran constantes debido a lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los procesos de exportación de las plantas de manufactura que proveen los productos al laboratorio analizado están certificados y estandarizados.</li> <li>• Los tiempos de entrega acordados con las plantas prevén la holgura necesaria de acuerdo con los tiempos históricos de los últimos cinco años.</li> <li>• Los procesos de importación son realizados por un operador logístico que de acuerdo con el contrato de servicios tiene unos tiempos de entrega estándar garantizados.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia de los autores.

De acuerdo con lo anterior se determinó que el modelo de Hopp, Spearman y Zhang [1997] se aproxima a las características de la empresa analizada. Este modelo va a permitir calcular los niveles de inventario y las cantidades a ordenar de acuerdo con un nivel de servicio deseado, para que de esta forma el laboratorio administre sus inventarios con base en una estructura formal que le garantice mejores resultados en su operación.

## 2.2. NOTACIÓN DE LA HEURÍSTICA

A continuación se encuentra la notación requerida para la formulación de esta heurística:

N: ítems o referencias existentes en inventario

$C_i$ : costo de una unidad por ítem  $i$ .

C: sumatoria de los costos unitarios por ítem  $i$ .  $C = \sum_{i=1}^N C_i$

$\lambda_{i,j}$ : demanda esperada por ítem  $i$  en el año  $j$   $\lambda_{i,j} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = \bar{x}$

$X_i$ : demanda esperada por ítem por mes o periodo del año.

L: demanda total esperada en el año.  $\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i$

$h$ : tiempo de entrega del proceso de reabastecimiento por ítem  $i$ .

$Q_i$ : cantidad a ordenar por ítem  $i$ .

$r_i$ : punto de reorden por ítem  $i$ .

$\theta_i$ : demanda esperada durante el tiempo de entrega para un ítem  $i$ .  
 $\theta_i = \lambda_i I_i$

F: frecuencia de órdenes requeridas por el cliente.

S: nivel de servicio requerido por el usuario.

P(x): función de distribución acumulativa de probabilidad de la demanda

## 2.3. LA FORMULACIÓN<sup>3</sup>

A continuación se presenta la formulación correspondiente al modelo anteriormente señalado.

Función a minimizar: inversión en inventarios (1)

<sup>3</sup> Esta formulación corresponde al modelo de Hopp, Spearman y Zhang [1997].



Primer conjunto de restricciones: Frecuencia de órdenes en el año  $\leq F$  (2)

Segundo conjunto de restricciones: Nivel de Servicio  $\geq S$  (3)

La función objetivo, la precisaron los autores utilizando los resultados de Hadley y Whittin [1963], en donde el promedio del inventario disponible en un determinado momento está dada por:

$$\frac{Q_i}{2} + \frac{1}{2} + r_i - \theta_i + B_i(r_i, Q_i) \quad (4)$$

Donde  $B_i(r_i, Q_i)$  es el número esperado de faltantes en un determinado tiempo, o de manera equivalente, el promedio de unidades de insuficiencia o escasez incurridas al año que puede ser calculado como:

$$B_i(r_i, Q_i) = \frac{1}{Q_i} [\beta_i(r_i) - \beta_i(r_i + Q_i)] \quad (5)$$

Donde  $B_i(r_i)$  representa los faltantes acumulados resultantes de la demanda en exceso de  $(r)$  en el tiempo de entrega, el cual puede ser calculado como

$$B_i(r_i) = \frac{\theta_i^2}{2} [1 - P(r_i - 2)] - \theta_i [1 - P(r_i - 1)] + \frac{r_i(r_i + 1)}{2} [1 - P(r_i)] \quad (6)$$

El promedio de órdenes por año está dado por:  $\frac{\lambda}{Q}$

Y el promedio de servicio está dado por  $[1 - A_i(r_i, Q_i)]$

Donde  $A_i(r_i, Q_i)$  es la probabilidad de agotados en un momento determinado, y puede ser calculada como:

$$A_i(r_i, Q_i) = \frac{1}{Q_i} [\alpha_i(r_i) - \alpha_i(r_i + Q_i)] \quad (7)$$

Donde  $\alpha_i(r_i)$  puede ser vista como la demanda en exceso de  $(x)$  esperada en el tiempo de entrega. Esta variable puede ser calculada como:

$$\alpha_i(r_i) = \theta_i [1 - P(r_i - 1)] - r_i [1 - P(r_i)] \quad (8)$$

En la búsqueda de que el modelo generara un resultado exacto, se concluyó que un modelo fácil de implementar no era factible si se buscaba una solución óptima, debido a la medida, integralidad y no convexidad de las diversas variables que intervienen en el análisis. En consecuencia, no se aplicó un modelo de optimización que arrojara análisis exactos; en su lugar se formuló un modelo heurístico que tiene por objetivo minimizar la inversión en inventario y mantener los más altos estándares de servicio en respuesta a una efectiva política de inventarios.

Para el desarrollo de la heurística se aproximó el cálculo del inventario bajo el supuesto de que  $r - \theta \geq 0$ ; así, el promedio del inventario disponible es positivo cuando las órdenes arriban.  $h_i(r_i, Q_i)$  representa

el inventario promedio por producto  $i$  disponible y puede calcularse como:

$$h_i(r_i, Q_i) = r_i - \theta_i + \frac{Q_i}{2} \quad (9)$$

$$\text{Minimizar } \frac{1}{C} \sum_{i=1}^N c_i \left( r_i - \theta_i + \frac{Q_i}{2} \right) \quad (10)$$

Sujeto a:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{Q_i} \leq F \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\Lambda} (1 - A_i(r_i, Q_i)) \geq S \quad (12)$$

Mediante el empleo de los multiplicadores de Lagrange el punto de reorden y la cantidad a pedir están determinados por:

$$Q_i = \max \left\{ \sqrt{\frac{2v\lambda_i C}{c_i N}}, 1 \right\} \quad (13)$$

donde  $v$  es un multiplicador de Lagrange

$$r_i = \begin{cases} \theta_i + \Phi^{-1} \left( 1 - \frac{\Lambda Q_i c_i}{C \mu \lambda_i} \right) \sqrt{\theta_i}, & \text{si } \Lambda Q_i c_i \leq C \mu \lambda_i, \\ r_i, & \text{dlc} \end{cases} \quad (14)$$

donde  $\mu$  es un multiplicador de Lagrange.

### 3. MODIFICACIÓN DE LA HEURÍSTICA

Al realizar una prueba numérica de la aplicación de la heurística descrita anteriormente con datos del laboratorio farmacéutico, se observó que para algunos productos identificados como los más costosos, el modelo sugería que el punto de reorden era  $r_i = -1$ , de acuerdo con la ecuación (14), lo que significaría realizar un pedido cuando las existencias se encuentren en cero. Sin embargo, dado que un laboratorio comercializa productos para la salud humana y en algunos casos, determinados productos deben ser suministrados al paciente tan pronto son formulados, el laboratorio debe contar siempre con existencias de reserva para suplir esta necesidad puntual. Adicionalmente, las entidades públicas penalizan a los laboratorios que después de comprometerse a abastecer cierto medicamento, retarden por cualquier motivo su suministro; de esta forma el laboratorio trabaja bajo una política de inventarios tipo *push*, por lo cual no puede esperar a que los productos más costosos estén en cero para generar un pedido a la planta, como lo

indica la ecuación original. Para evitar esta situación se cambió el límite inferior del punto de reorden a  $r_i = \theta + z\sigma_L$ . Así el modelo siempre ordenará cuando el inventario caiga en la cantidad o por debajo de la cantidad promedio que se demanda durante el *lead time* de reaprovisionamiento,  $\theta$ , más la demanda en exceso esperada en el *lead time* de reaprovisionamiento  $z\sigma_L$ .

La reserva de seguridad puede ser calculada de acuerdo con [Chase, 2002] como

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n}} \quad (15)$$

$$\sigma_L = \sqrt{l(\sigma_d)^2} \quad (16)$$

$$E(z) = \frac{(1-S)Q}{\sigma_L} \quad (17)$$

Donde:

$z$  = desviación estándar de  $E(z)$

$Z$ : número de desviaciones típicas para un nivel de servicio específico.

$\sigma_L$ : desviación típica de la demanda durante el plazo.

$\bar{d}$ : demanda diaria promedio

$S$ : nivel de servicio deseado

$E(z)$ : número previsto de unidades faltantes durante el plazo<sup>4</sup>

En cuanto a la cantidad de pedido, ésta se adaptó al múltiplo superior más cercano a la cantidad mínima requerida por las plantas, sin sufrir modificaciones de fondo.

Por lo tanto la heurística propuesta para trabajar el caso del laboratorio farmacéutico es la siguiente:

El punto de reorden puede ser calculado mediante la ecuación

$$r_i = \begin{cases} \theta_i + \Phi^{-1} \left( 1 - \frac{\Lambda Q_i c_i}{C \mu \lambda_i} \right) \sqrt{\theta_i}, & \text{si } \Lambda Q_i c_i \leq C \mu \lambda_i, \\ \theta_i + z\sigma_L, & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (18)$$

La cantidad a ordenar puede calcularse como

$$Q_i = \max \left\{ \sqrt{\frac{2v\lambda_i C}{c_i N}}, 1 \right\} \quad (19)$$

<sup>4</sup> El número previsto de unidades faltantes se calculó con base en la tabla que presenta los cálculos del estudio de R. G. Brown del número previsto de faltantes dada una desviación estándar de la demanda [1967].

#### 4. PROCESO PROPUESTO

La propuesta diseñada para el laboratorio consiste en integrar los cuatro grandes procesos relacionados con la administración de inventarios, que en su orden son: planeación de demanda, planeación de inventarios, abastecimiento y ventas.

El proceso propuesto inicia con la recolección de información de los registros históricos de ventas, planes de mercadeo y metas financieras que provienen de cuatro grandes fuentes, a saber: el sistema de información y las áreas de finanzas, mercadeo y comercial y logística. De esta manera, un analista de planeación perteneciente al área logística puede posteriormente analizar mediante técnicas cuantitativas de pronósticos los datos de demanda de los periodos pasados y calcular un estimado de ventas que debe ser ajustado de acuerdo con las estrategias de mercadeo y financieras. Este valor estimado debe ser analizado y aprobado por las áreas anteriormente mencionadas en la reunión de planeación operacional y de ventas del laboratorio.

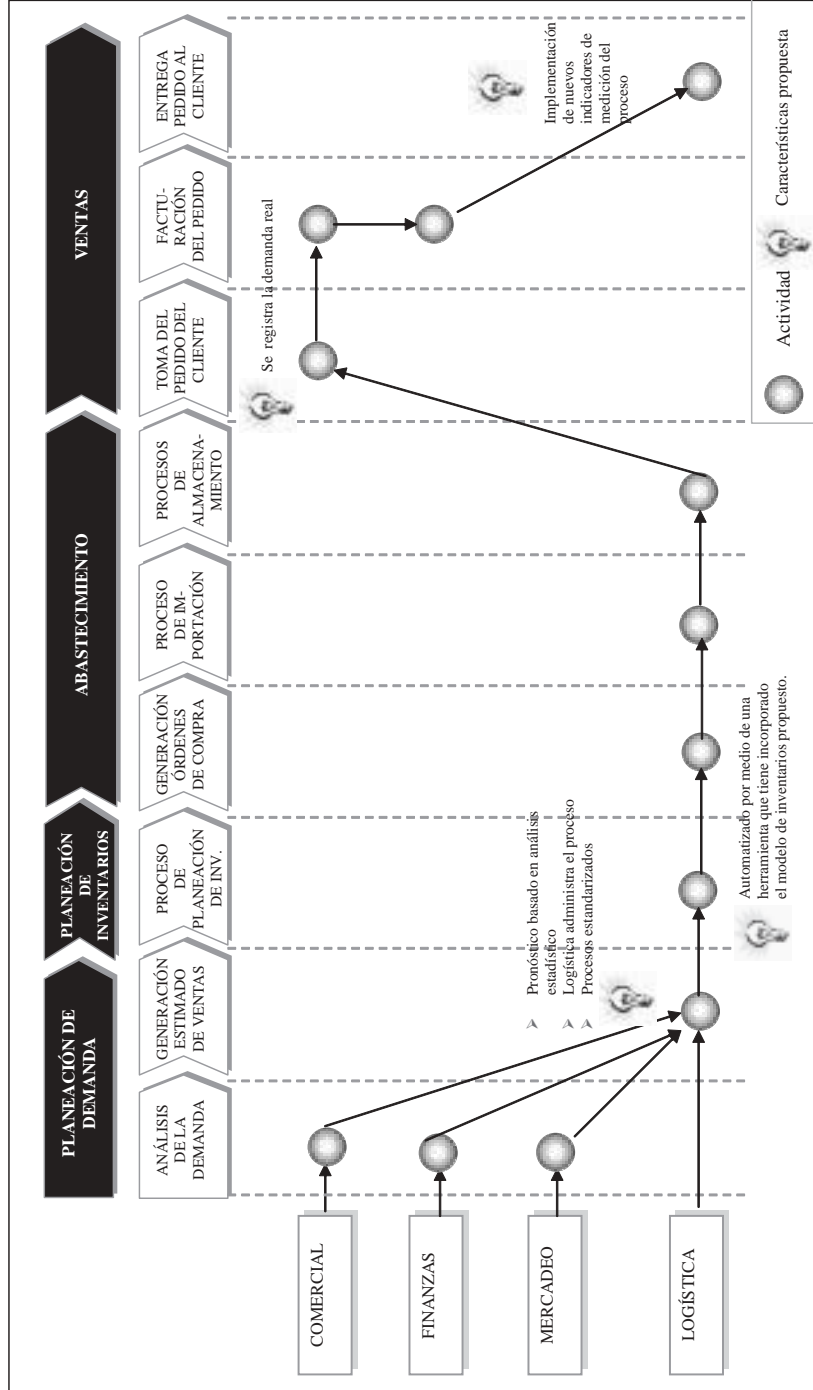
El segundo eslabón del modelo lo conforma el macroproceso de planeación de inventarios, donde se toma la decisión del punto de reorden y la cantidad a pedir de cada uno de los productos con base en el modelo de inventarios propuesto y en el análisis de los indicadores generados de las operaciones del cierre anterior.

Finalmente, el ciclo termina con los procesos de abastecimiento, ventas y distribución (ejecución logística) que son fundamentales para la efectividad de la gestión, ya que los resultados de dicho proceso alimentarán a todas y cada una de las áreas de la compañía para la toma estratégica de decisiones. El proceso propuesto se presenta en la Figura 5.

#### 5. PRUEBA DEL MODELO CON LOS DATOS PILOTO

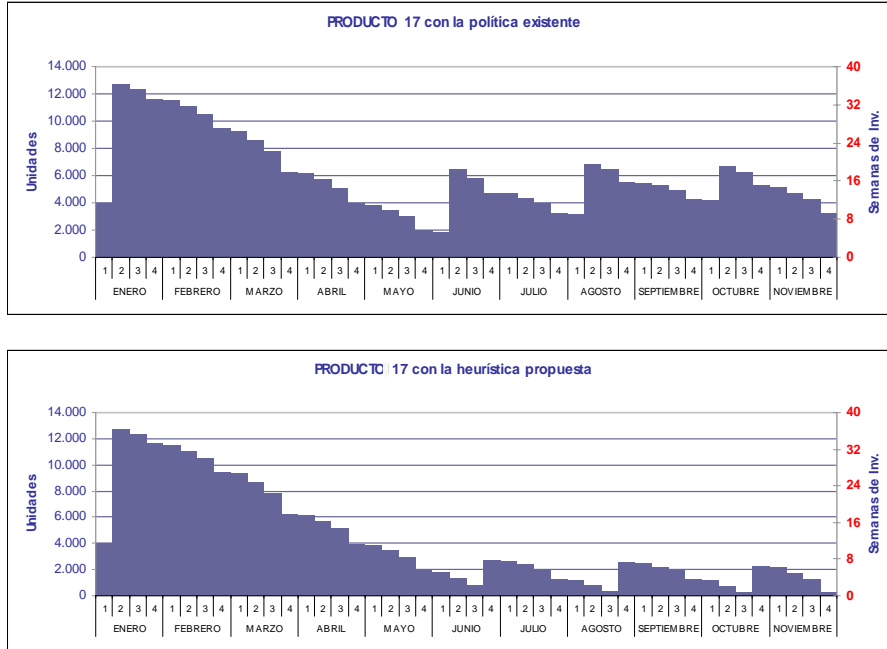
Con el objetivo de validar el modelo propuesto se realizó una prueba piloto utilizando los datos de pronósticos de ventas y el inventario disponible de todos los productos correspondiente al segundo semestre del año 2004. La Figura 6 muestra los dos escenarios de planeación para un producto específico, la situación actual y la aplicación del modelo propuesto, donde se puede observar la reducción de los inventarios promedio que en conjunto para todos los productos del laboratorio disminuyó de 17 a 4 semanas sin afectar el nivel de servicio que se mantuvo en 95%.

Figura 5. Diagrama de Flujo de funciones y áreas del proceso propuesto



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 6. Ejemplo de la planeación de los inventarios para un producto seleccionado. Comparación entre la política existente y los resultados del modelo propuesto.



Fuente: presentación propia de los autores.

Cuadro 2. Análisis comparativo de la heurística propuesta

Criterio	Situación encontrada con la aplicación de la política existente en el laboratorio para el año 2003	Situación con el modelo propuesto
Pronósticos	Se multiplican las ventas del año anterior por un porcentaje resultado de la meta de ventas.	Métodos estadísticos de proyección de pronósticos de acuerdo con la tendencia de cada producto.
Duración del proceso de cálculo de las cantidades a ordenar y las fechas de pedidos	5 días hábiles	Un día hábil. Como resultado de esta propuesta se generó una aplicación en <i>Microsoft Excel®</i> que apoya al área logística en el análisis de la demanda y la aplicación del modelo de control de inventarios. Esta aplicación permite reducir considerablemente el tiempo operativo que se requiere para el proceso de planeación.

Continuación cuadro 2.

<b>Criterio</b>	<b>Situación encontrada con la aplicación de la política existente en el laboratorio para el año 2003</b>	<b>Situación con el modelo propuesto</b>
Exactitud de los cálculos	Debido a que los cálculos de las cantidades a ordenar se realizan de forma manual por el método de observación, las cantidades presentan un mayor grado de error.	Debido a que es un desarrollo matemático con un modelo demostrado, los cálculos pueden aproximarse más a la realidad con un menor margen de error.
Frecuencia de pedidos	La frecuencia entre pedidos depende del planeador; sin embargo, en promedio se observó una frecuencia de siete órdenes por año, lo que disminuye los procesos operativos, pero aumenta los costos en el inventario disponible.	La frecuencia de pedidos también depende del planeador. El modelo plantea una frecuencia promedio de 11 órdenes por año, lo que implica optimizar los procesos de compra e importación, permitiendo así disminuir los costos en el inventario disponible.
Nivel medio de inventario	El inventario promedio era de 17 semanas, lo que tenía efectos negativos en la fecha de expiración de los productos.	El resultado de la aplicación de la heurística sobre los datos piloto generó un inventario promedio de cuatro semanas.
Costo del inventario disponible ( <i>on hand</i> )	En promedio para el año 2003 el costo del inventario de los productos fue de \$ 7.500 millones de pesos.	El resultado de la aplicación del modelo sobre una prueba piloto generó un costo total de inventarios de \$ 3.000 millones de pesos anuales, lo que significa ahorros de \$ 3.500 millones de pesos en inventarios.
Nivel de servicio	El nivel de servicio promedio para el 2003 fue del 77%	Debido a que la heurística restringe el modelo a un nivel de servicio ingresado por el usuario, se tienen cálculos de un promedio de nivel de servicio entre el 95% y 97%.

Fuente: Elaboración propia de los autores.

## 6. RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DEL MODELO

El Cuadro 2 presenta los principales hallazgos de la aplicación del modelo en forma comparativa con respecto a la política de inventarios anteriormente utilizada por el laboratorio farmacéutico analizado.

## 7. REPERCUSIONES Y CONCLUSIONES

Los ahorros en inventarios que se podrían obtener con la aplicación del modelo son significativos. Para implantar el modelo se requiere que la organización expuesta cambie sus procesos empíricos por los procesos propuestos que están basados en la aplicación de metodologías y análisis matemáticos para tomar las decisiones correctas.

El modelo propuesto surge de la adaptación de una heurística para generar un modelo de inventarios y de generación de pronósticos. Este modelo puede ser utilizado por cualquier centro de distribución de una empresa con productos que tengan parámetros de abastecimiento y distribución similares a los productos de este laboratorio farmacéutico.

La generación de pronósticos se debe basar en la demanda real y no en los despachos del cliente. Este tipo de pronósticos, basado en los despachos, causó muchos inconvenientes al laboratorio, ya que la escasez de producto generaba pronósticos que no estaban ajustados a la realidad de la demanda.

Los modelos de inventarios como el desarrollado en esta propuesta pueden generar resultados de alto impacto financiero con un mínimo de inversión. Para que estos modelos se generalicen en el sector real se requiere un mayor acercamiento de la empresa a la academia y viceversa, así como la capacitación del personal en técnicas de ingeniería que rompan con el paradigma de la poca utilidad de los modelos matemáticos frente a la realidad.

## REFERENCIAS

- Chase, R., Aquilano, N., Jacobs, R. *Administración de producción y de las operaciones*. Bogotá: McGraw-Hill. 2002.
- Franco, C., "Determinación y diseño de un modelo de gestión de inventarios para la división farmacéutica de Pfizer S.A. en la ciudad de Bogotá". Trabajo de grado próximo a publicarse. 2004.
- Gilliland, M. Fundamental Issues in Business Forecasting. En: *Journal of Business Forecasting Methods and Systems*, 2, 2003, 7-13.
- Hadley, G., Whitin, R. *Analysis of Inventory Systems*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1963.
- Hopp, W., Spearman, M., Zhang, R., "Easily Implementable Inventory Control Policies" En: *Operations Research*, 45 (3), 1997, 327-340.



IAC Colombia. Quinto estudio de Benchmarking en logística y cadena de abastecimiento. 2003. Disponible en: [www.eancol.org](http://www.eancol.org). Fecha de consulta: enero de 2005.

Ploss, G. *Control de la producción y de inventarios*. México: Othoniel Almeida, 1987.

Taha, H. *Investigación de operaciones*. México: Pearson, 1998.