

## OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE INVENTARIO EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE FÁRMACOS

Mg. Leticia Milena Arcusin\*

Prof. Dr. Germán Rossetti\*\*

**RESUMEN:** La finalidad de la administración de inventario no es satisfacer instantáneamente la demanda, ya que las empresas deberían almacenar grandes cantidades de sus productos, ocasionando grandes costos de *stocks*. Por lo tanto, las empresas deben determinar el nivel apropiado de inventarios, buscando un equilibrio entre *stocks* y su costo de mantenimiento. En el presente trabajo se desarrolla la optimización del Sistema de Inventario de suministros para una PyME productora de fármacos de la ciudad de Santa Fe, Argentina. Para lograr tal objetivo, se analiza el funcionamiento de la logística de la organización y se diseña una metodología que permita realizar el estudio de criticidad de los suministros, determinando cuáles deben permanecer en *stock*. Con la información recabada y considerando los distintos modelos de gestión de *stock* existentes en la bibliografía, se selecciona el Método de Revisión Periódica como el más apropiado y se determinan los parámetros correspondientes. A partir de la implementación de la propuesta, se logra minimizar tiempos y costos, derivados de la falta de suministros, como así también, se logra disminuir los costos de adquisición debido a la realización de compras planificadas.

**Palabras claves:** Sistema de Inventario. Suministros. PyME.

### 1 INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de inventario surge como consecuencia de satisfacer las necesidades y requerimientos de los clientes, adecuadamente en el tiempo. Para ello, se debe implementar una política de inventario, teniendo en cuenta: el sector productivo al cual pertenece la empresa, el sistema productivo adoptado y las características intrínsecas de los proveedores de los distintos suministros necesarios para la producción.

La finalidad de la administración de inventario no es satisfacer instantáneamente la demanda, ya que las empresas deberían almacenar grandes cantidades de sus productos,

---

\* Universidad Nacional del Litoral, Magister en Administración Estratégica de Negocios de la UNaM, Argentina Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Química, 1° de Mayo 3250 – 4° Piso, CP: S3000FKV, Santa Fe, Argentina. [larcusin@fiq.unl.edu.ar](mailto:larcusin@fiq.unl.edu.ar)

\*\* Universidad Nacional del Litoral Doctor en Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Química, 1° de Mayo 3250 – 4° Piso, CP: S3000FKV, Santa Fe, Argentina. [groseti@fiq.unl.edu.ar](mailto:groseti@fiq.unl.edu.ar)

ocasionando grandes costos de *stocks*. Por lo tanto, las empresas deben determinar el nivel apropiado de inventarios, buscando un equilibrio entre *stocks* y su costo de mantenimiento.

El control de *stock* forma parte de la logística de las empresas. En décadas pasadas, la logística consistía en tener el producto justo, en el sitio justo, en el tiempo oportuno y al menor costo posible. Dicho concepto fue evolucionando y actualmente, la logística determina y coordina en forma óptima el producto correcto, el cliente correcto, el lugar correcto y el tiempo correcto. Si se asume que el rol del marketing es estimular la demanda (SORET, 2006), el rol de la logística es satisfacerla.

A través de un análisis detallado de la demanda en términos de nivel, ubicación y tiempo, es posible determinar el punto de partida para atenderla en términos de costos y efectividad. La logística no es, por lo tanto, una actividad funcional sino un modelo, un marco referencial; no es una función operacional, sino un mecanismo de planificación; es una manera de pensar que permite reducir la incertidumbre en un futuro desconocido.

En el presente trabajo se analiza la gestión de inventario de suministros llevada a cabo por una Pequeña y Mediana Empresa (PyME), localizada en la ciudad de Santa Fe, Argentina, dedicada a la producción de fármacos. De dicho estudio, se desprende que la empresa no cuenta con una política de gestión de inventario de suministros adecuada. Por lo tanto, se desarrolla una propuesta de mejora del Sistema de Inventario de suministros de la empresa bajo estudio. El mismo abarca el relevamiento de información asociado a los suministros y la determinación del modelo o método propicio y sus respectivos parámetros. A partir de la implementación de la propuesta, se logra minimizar tiempos y costos no productivos, derivados de la falta de suministros.

A continuación se detalla el Marco Teórico que respalda el presente trabajo. En la sección 3 se desarrolla la política de inventarios propuesta para la empresa productora de fármacos bajo estudio. Finalmente, en el sección 4, se exponen las conclusiones del artículo.

## **2 MARCO TEÓRICO**

El objetivo de la logística es lograr que un conjunto de actividades, entre las que se destacan: (i) Transporte de materias primas e insumos de productos terminados; (ii) Administración de inventarios y gestión de almacenes y centros de distribución y (iii) Definición de estándares de servicio al cliente, se desarrollen de manera coordinada e integrada de forma que los productos y servicios de la empresa estén disponibles para los

clientes en el momento, lugar, condición y forma deseada, y de la manera más beneficiosa o efectiva desde el punto de vista de costos para la empresa (PAU COS; DE NAVACUÉS, 2001).

## 2.1 Política de Inventario para Suministros

El primer paso para definir una política de inventario es analizar la naturaleza de la demanda: (i) perpetua; (ii) estacional o (iii) irregular (BALLOU, 2004). Una variable importante, en la administración de inventarios, es saber si la demanda del producto que se analiza es independiente o dependiente. Los inventarios de suministros generalmente tienen demanda independiente, por lo tanto es apropiada una filosofía de reposición, es decir que se genera un *stock* inicial, el cual se repone con el objetivo de tener los materiales disponibles para futuras eventualidades.

Para determinar las políticas de inventarios existen tres clases de costos importantes:

- Costos de adquisición: es el costo debido al procesamiento, ejecución, transmisión, manejo y compra del pedido.
- Costos de mantener inventario: se calcula como un porcentaje del costo de un producto y es la suma de los siguientes componentes principales: costo de capital, costo de obsolescencia (o deterioro), costo de manejo de inventario, costo de ocupación y costos varios.
- Costos por falta de existencias: estos costos se generan debido a la falta del material en el inventario. Hay dos tipos de costos por falta de existencias: (i) costos por cliente insatisfecho y (ii) costos por pedidos pendientes.

En la bibliografía existen varios modelos de política de inventario para productos que siguen una demanda independiente, como es el caso de los suministros que requiere el Laboratorio para su operación. A continuación se detallan dichos modelos: (i) Modelo de Tamaño Económico de Lote (EOQ); (ii) Modelo del Punto de Reorden; (iii) Modelo de Punto de Reorden con variabilidad en la demanda y en el lead time y (iv) Método de revisión periódica.

El modelo seleccionado en este caso, es el Método de Revisión Periódica, debido a que es adecuado para productos con demanda sostenida con escasa variabilidad. Este método es recomendado para gestionar los inventarios de productos afines que se soliciten en forma

conjunta a un mismo proveedor, ya que conlleva a: (i) Ahorros en costos de reaprovisionamiento; (ii) Eventuales ahorros en el transporte por aplicar consolidación y (iii) Eventuales descuentos por parte del proveedor.

El control de revisión periódica determina un mayor inventario, pero los costos adicionales del manejo se compensan por costos administrativos reducidos, precios bajos o costos de adquisición más bajos. La justificación de un mayor inventario en este modelo, responde a que se debe proteger de las fluctuaciones de la demanda durante el intervalo de pedido y el tiempo de entrega (CHOPRA; MEINDL, 2008).

El nivel de inventario para un artículo es auditado a intervalos predeterminados ( $T^*$ ). La cantidad de un pedido es la diferencia entre una cantidad máxima o target ( $M^*$ ) y la cantidad disponible en el momento de la revisión. Por lo tanto, el inventario se controla estableciendo  $T^*$  y  $M^*$ . El valor de  $T^*$  se determina mediante la siguiente Ecuación 1:

$$T^* = \frac{Q^*}{D} \therefore T^* = \sqrt{\frac{2S}{Cm \cdot D}} \quad (1)$$

Donde: (i)  $D$ : Velocidad de demanda [unidades/tiempo]; (ii)  $S$ : Costo de emisión de la orden, de adquisición [\$/orden]; (iii)  $Cm$ : Costo de mantenimiento de inventario [\$/unidad.tiempo]; (iv)  $Q^*$ : cantidad óptima a pedir.

Luego, el punto de nivel máximo ( $M^*$ ), se calcula mediante la siguiente Ecuación 2:

$$M^* = D(T^* + LT) + z \cdot s'_d \quad (2)$$

Donde: (i)  $LT$ : tiempo de entrega, (ii)  $z$ : número de desviaciones estándar desde la media de la distribución y (iii)  $s'_d$ : desviación estándar de la distribución y se calcula según la Ecuación 3:

$$s'_d = s_d \sqrt{T + LT} \quad (3)$$

El costo total del sistema se calcula de la siguiente manera (Ecuación 4):

$$CT = Cu \cdot D + S \frac{D}{Q} + Cm \cdot \frac{Q}{2} + Cu \cdot I \cdot z \cdot s'_d + \frac{D}{Q} \cdot k \cdot s'_d \cdot E(z) \quad (4)$$

Donde: (i)  $D$ : Velocidad de demanda [unidades/tiempo]; (ii)  $S$ : Costo de emisión de la orden de adquisición [\$/orden]; (iii)  $Cu$ : Costo unitario [\$/unidad]; (iv)  $I$ : costo de manejo de inventario en porcentaje anual [%/tiempo]; (v)  $Cm$ : costo de mantenimiento de inventario [\$/unidad.tiempo.  $Cm=I \cdot Cu$ ]; (vi)  $z \cdot s'_d$ : *stock* de seguridad siendo  $z$  el número de desviaciones estándar desde la media de la distribución y determina la probabilidad deseada de tener existencias durante el tiempo de entrega y (vii)  $E(z)$ : unidad normal de pérdida integral cuyos valores están tabulados como función de la desviación normal  $z$ .

### 3 DESARROLLO DE LA POLÍTICA DE INVENTARIO

En la presente sección se desarrolla la política de inventario propuesta. En primer lugar, se detallan los suministros utilizados por la empresa. Luego, se lleva a cabo un análisis de criticidad de los mismos. A partir de los resultados obtenidos en dicho análisis, se procede a agrupar los suministros en familias. Seguidamente se realiza la aplicación del método de revisión periódica, el estudio de la demanda y del *lead time*, el análisis de probabilidad de cobertura y la determinación de los costos pertinentes. Finalmente, se calcula el costo total de la política propuesta.

#### 3.1 Suministros de la empresa

En el Cuadro 1 se detalla el listado de suministros que se utilizan en el Laboratorio.

| SUMINISTRO                           |                                     |  |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Rollo bolsa 45x35                    | Desodorante sólido inodoro          | Jabón líquido <i>SoftCare</i> x 5lt          |
| Rollo bolsa 35x35                    | Bolsas rojas 75x120x100cm           | Paño gasa x 1,5kg                            |
| Papel de obra (1,1m x 0,74m/80g)     | Aerosol limpieza computadoras (LEM) | Trapo rejilla                                |
| Rollo bolsa 45x60 cm                 | Rollo de mano Elite                 | Trapo de pisos                               |
| Aceite teflonado <i>Triflow</i>      | End-Bac x5lt                        | <i>Lysoform</i> aerosol x 360cm <sup>3</sup> |
| Precintos F530 sin numerar           | Mopa                                | Escurreidor de goma x 40cm                   |
| Precintos F530 numerados             | Rollo de mano Celmatic              | Escurreidores plásticos                      |
| Cinta adhesiva transp. 48mm x 100m   | Rollo higiénico Elite               | Alcohol etílico 96° lt                       |
| Blem aerosol                         | Guantes n°7                         | Esponja dorada                               |
| Pack toallas de mano descartables    | Guantes n°7 1/2                     | Barbijos                                     |
| Pack toallas higiénicas descartables | Guantes n°8                         | Semimáscara siliconada 3M mediana            |
| Jabones líquidos antisépticos        | Guantes n°8 1/2                     | Par de filtros 2078/másc 3M serie6000        |
| Bolsas de consorcio 60x90cm          | Mamelucos talle G (TYVEK)           | Mamelucos talle XG (TYVEK)                   |
| Cofias                               | Mamelucos talle XXG (TYVEK)         | Cubrecazado (TYVEK)                          |

Cuadro 1 – Listado de Suministros

Fuente: Elaborado por los autores

En la empresa bajo estudio, el abastecimiento de suministros se realiza emitiendo una solicitud de compra, en función del consumo de los últimos seis meses.

#### 3.2 Análisis de criticidad

El hecho de mantener el inventario a través de conteo, colocación de pedidos, recibo de existencias, entre otros, requiere tiempo y dinero. Cuando existen límites en estos recursos, el paso lógico es tratar de utilizar los recursos disponibles para controlar el inventario de la

mejor manera posible. En otras palabras, centrarse en los artículos más importantes del inventario (SERRA DE LA FIGUERA; 2005).

El análisis de criticidad brinda una herramienta para identificar aquellos artículos que tendrán el máximo impacto en el desempeño total de la producción de la empresa, cuando se implementen mejoras en los procedimientos de control de inventario. Por tanto, es el primer paso para mejorar el desempeño del inventario y ayuda a enfocar la atención en lo que es verdaderamente importante. Para el cumplimentar con este objetivo, en el presente trabajo se realiza una clasificación que distingue tres tipos de suministros, en función de la importancia de su existencia dentro del proceso productivo:

- Suministros críticos: afectan significativamente los resultados de la producción.
- Suministros importantes: perturban la producción, pero las consecuencias son asumibles.
- Suministros prescindibles: poseen incidencia escasa en la producción.

Desafortunadamente, clasificar los artículos en categorías crítico, importante y prescindible con base en un criterio único puede dejar de lado otros criterios relevantes. Es por ello que, para determinar la importancia que tiene un suministro dentro de la empresa, se toma en consideración los siguientes aspectos:

- Seguridad del personal: la falta de un suministro puede traer consecuencias en la salud del operario.
- Calidad: la ausencia de un suministro puede tener una influencia decisiva, importante o nula sobre la calidad del producto. Este aspecto es significativo en una empresa de rubro farmacéutico, donde un defecto de calidad puede significar un riesgo grave para el consumidor;
- Producción: es el factor que pondera la influencia que el suministro tiene en la producción;
- Tiempo de entrega: es el aspecto que pondera tanto las distancias como la facilidad de acceso a los proveedores.
- Posibilidad de sustitución: es la facilidad de que ante la falta de un suministro, éste pueda ser sustituido por algún otro.

Cada uno de los aspectos nombrados anteriormente puede ser estratificado en función del efecto que genera en la organización, como se muestra en el Cuadro 2.

A continuación, se describe el procedimiento que permite agrupar los suministros en función a sus niveles de criticidades relativas (A, B y C) y, consecuentemente, definir la política de inventario que se debe aplicar.

Se diseñó para el presente trabajo un diagrama de decisión adaptado al caso de estudio. La elección se basa en la practicidad de uso y su fácil interpretación.

| <b>Seguridad del Personal</b>     | <b>Efecto</b>  |
|-----------------------------------|--|
| A                                 | Puede originar efectos permanentes en la salud del personal          |
| B                                 | Riesgos normales, previsibles y temporales al personal               |
| C                                 | No existen riesgos para el personal                                  |
| <b>Calidad</b>                    | <b>Efecto</b>  |
| A                                 | Es clave para la calidad final del producto                          |
| B                                 | Afecta la calidad del producto pero existe forma de corregirlo       |
| C                                 | Ninguna o muy pequeña influencia                                     |
| <b>Producción</b>                 | <b>Efecto</b>  |
| A                                 | La falta de suministro afecta al plan de producción                  |
| B                                 | Afecta la producción pero es recuperable                             |
| C                                 | Influencia mínima en la producción                                   |
| <b>Tiempo de Entrega</b>          | <b>Efecto</b>  |
| A                                 | Productos importados con alto tiempo de entrega                      |
| B                                 | Productos de proveedores nacionales                                  |
| C                                 | Productos de proveedores locales                                     |
| <b>Posibilidad de Sustitución</b> | <b>Efecto</b>  |
| A                                 | No existe posibilidad de sustitución                                 |
| B                                 | Existe posibilidad de sustitución pero con el suministro no adecuado |
| C                                 | Elevada posibilidad de sustitución                                   |

Cuadro 2 – Factores para el análisis de criticidad  
Fuente: Elaborado por los autores

En el diagrama de decisión de criticidad de suministros que se muestra en la Figura 1, se pueden observar los caminos de decisión cuyo sentido de análisis está indicado por las flechas de flujo. En el mismo se deben dar, para cada suministro en particular, los valores correspondientes a los distintos aspectos, y recorrer los caminos adecuados a fin de obtener la clasificación a la que pertenece el suministro en estudio.

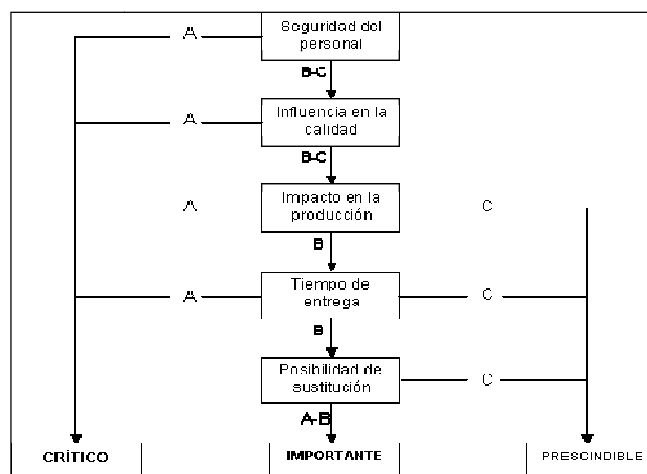


Figura 1 – Diagrama de decisión de criticidad de suministros  
Fuente: Elaborado por los autores

En el Cuadro 3, se presentan los resultados del análisis de criticidad de los suministros presentados en el Cuadro 1, en función del diagrama exhibido anteriormente.

| DESCRIPCIÓN                          | CRITICIDAD   | DESCRIPCIÓN                           | CRITICIDAD   |
|--------------------------------------|--------------|---------------------------------------|--------------|
| Rollo bolsa 45x35                    | Prescindible | Desodorante sólido inodoro            | Prescindible |
| Rollo bolsa 35x35                    | Prescindible | Bolsas rojas 75x120x100cm             | Prescindible |
| Papel de obra (1,1m x 0,74m/80g)     | Crítico      | Aerosol limpieza computadoras (LEM)   | Prescindible |
| Rollo bolsa 45x60 cm                 | Prescindible | Rollo de mano Elite                   | Prescindible |
| Aceite teflonado Triflow             | Importante   | End-Bac x5lt                          | Prescindible |
| Precintos F530 sin numerar           | Prescindible | Mopa                                  | Prescindible |
| Precintos F530 numerados             | Prescindible | Rollo de mano Celmatic                | Importante   |
| Cinta adhesiva transp. 48mm x 100m   | Prescindible | Rollo higiénico Elite                 | Prescindible |
| Blem aerosol                         | Prescindible | Guantes n°7                           | Crítico      |
| Pack toallas de mano descartables    | Prescindible | Guantes n°7 1/2                       | Crítico      |
| Pack toallas higiénicas descartables | Prescindible | Guantes n°8                           | Crítico      |
| Jabones líquidos antisépticos        | Crítico      | Guantes n°8 1/2                       | Crítico      |
| Bolsas de consorcio 60x90cm          | Prescindible | Mamelucos talle G (TYVEK)             | Crítico      |
| Jabón líquido SoftCare x 5lt         | Prescindible | Mamelucos talle XG (TYVEK)            | Crítico      |
| Paño gasa x 1,5kg                    | Crítico      | Cofias                                | Crítico      |
| Trapo rejilla                        | Prescindible | Cubrecazado (TYVEK)                   | Crítico      |
| Trapo de pisos                       | Prescindible | Mamelucos talle XXG (TYVEK)           | Crítico      |
| Lysoform aerosol x 360cm3            | Importante   | Mamelucos talle XXXG (TYVEK)          | Crítico      |
| Escurreidor de goma x 40cm           | Prescindible | Barbijos                              | Crítico      |
| Escurreidores plásticos              | Prescindible | Semimáscara siliconada 3M mediana     | Crítico      |
| Alcohol etílico 96° lt               | Crítico      | Par de filtros 2078/másc 3M serie6000 | Crítico      |
| Esponja dorada                       | Importante   |                                       |              |

Cuadro 3 – Resultados del Análisis de Criticidad  
Fuente: Elaborado por los autores



### 3.3 Tratamiento por familia de productos

Para facilitar el estudio de los suministros se procedió a agruparlos por familias. Una familia de productos es un conjunto de artículos que poseen ciertas características similares, las cuales permiten su tratamiento en forma conjunta, permitiendo establecer una política de inventario para ellos. A partir de los 45 suministros se conforman 9 familias, de las cuales cuatro son críticas, una importante y cuatro prescindibles, como se muestra en el Cuadro 4.

| Familia  | Descripción  | Familia                                       | Descripción  |
|--|--|---|--|
| Guantes (crítica)                                    | Guantes N° 7<br>Guantes N° 7 1/2<br>Guantes N° 8<br>Guantes N° 8 1/2   | Elementos de limpieza pasillos (prescindible) | Trapo rejilla<br>Trapo de pisos<br>Escurridor de goma<br>Escobas plásticas<br>End-Bac x 5 lt<br>Mopa   |
| Mamelucos (crítica)                                  | Mameluco Talle G<br>Mameluco Talle XG<br>Mameluco Talle XXG<br>Mameluco Talle XXXG                           | Elementos para cocina y baño (prescindible)   | Blem en aerosol<br>Pack toallas de mano<br>Pack toallas higiénicas<br>Jabón líquido x 5 lt.<br>Desod. Sólido Inodoro<br>Aerosol Limp. Pc<br>Rollo de mano Elite<br>Rollo higiénico Elite |
| Elementos de Protección Personal (crítica)           | Cofia<br>Cubrecazado<br>Barbijo<br>Semimáscara siliconada<br>Par de filtros                                  | Elementos de cierre (prescindible)            | Precintos sin numerar<br>Precintos numerados<br>Cinta adhesiva transp.<br>Bolsas de consorcio<br>Bolsas rojas  |
| Elementos críticos para área de producción (crítica) | Papel de Obra<br>Aceite teflonado<br>Jobón Liq. Antiséptico<br>Paño gasa x 1.5 kg<br>Alcohol etílico 96° lt. | Elementos de limpieza de áreas (importante)   | Lysoform aerosol<br>Esponja dorada<br>Rollo de mano  |
| Rollos bolsas (prescindible)                         | Rollo Bolsa 45x35<br>Rollo Bolsa 35x35<br>Rollo Bolsa 45x60  |   |  |

Cuadro 4 – Agrupación por familia de productos

Fuente: Elaborado por los autores

### 3.4 Aplicación del Método de Revisión Periódica

A partir de los resultados generados en los Cuadros 3 y 4, se procede a formular un método de inventario para determinar la política de los suministros. Es esencial que las familias pertenecientes al estrato de críticos estén siempre disponibles, por lo que se tendrá la necesidad de un *stock* de seguridad mayor que para las concernientes a importantes y prescindibles.

Por otro lado, para determinar el modelo para todas las familias se tienen en cuenta las facilidades que se pueden otorgar a la gestión de compra, como así también a la gestión de

depósito. Esto es así pues se intenta facilitar los aspectos administrativos y no sólo los de disponibilidad.

El tratamiento de suministros por familias facilita el pedido conjunto. Se debe determinar un tiempo de revisión del inventario común para todas las familias, y luego hallar el nivel máximo de cada familia ( $M^*$ ) según se impone a partir de sus costos y de su nivel de servicio particulares.

La Ecuación 5 del costo total de esta política es la siguiente:

$$CT = \sum_j Cu_j \cdot D_j + \frac{1}{T} [O + \sum_j S_j] + \frac{I \cdot T}{2} \sum_j Cu_j \cdot D_j + I \cdot \sum_j Cu_j \cdot z_j \cdot s'_{d_j} + \frac{\sum_j k_j \cdot s'_{d_j} \cdot E(z)_j}{T} \quad (5)$$

Donde: (i)  $O$ : es el costo común de realizar un pedido; (ii)  $j$ : este subíndice se refiere a una familia en particular y (iii)  $s'd$ : su valor para cada familia de suministros surge de (Ecuación 6):

$$s'_{d_j} = s_{d_j} \sqrt{LT_j + T} \quad (6)$$

El tiempo de revisión  $T$  que minimiza el costo total surge de derivar la expresión del Costo Total con respecto a  $T$  e igualar a cero.

El tiempo de revisión común para familias pedidas conjuntamente es (Ecuación 7):

$$T^* = \sqrt{\frac{2[(O + \sum_j S_j)] + \sum_j k_j \cdot s'_{d_j} \cdot E(z)_j}{I \cdot \sum_j Cu_j \cdot D_j}} \quad (7)$$

El nivel máximo para cada familia es (Ecuación 8):

$$M_j^* = D_j (T^* + LT_j) + z_j \cdot s'_{d_j} \quad (8)$$

Finalmente, a partir de la participación de cada suministro en la familia a la que pertenece, se calcula la cantidad a ordenar en forma individual.

### 3.5 Análisis de la demanda

Entre muchas definiciones se puede decir que “la formulación de pronósticos es una técnica para utilizar experiencias pasadas con la finalidad de predecir expectativas del futuro [...] Un pronóstico no es realmente una predicción, sino una proyección estructurada del conocimiento pasado” (CHAPMAN, 2006). Es decir mediante algún o algunos procedimientos matemáticos se examina la historia o secuencia de valores pasados de una variable y se trata de extrapolar este comportamiento para posibilitar un indicio sobre el valor futuro de dicha variable.

Anticiparse a lo que puede pasar en el futuro ayuda a las empresas a prepararse, determinar el nivel óptimo de recursos y reducir los excesos. Un pronóstico acertado y una adecuada planeación de la demanda de suministros permiten a las empresas controlar los costos asociados mediante la racionalización de las cantidades a comprar.

También contribuye a realizar una mejor planeación para lograr la mayor eficiencia del inventario, ayudando a elevar el nivel de disponibilidad. Los datos que se utilizan para presentar las proyecciones en el presente trabajo, fueron recolectados del software que emplea el área de Depósito para llevar el control de *stock*. Los mismos son valores trimestrales de los años 2009 y 2010 de los egresos de suministros de depósito hacia las diferentes áreas.

Analizando las familias determinadas en el Cuadro 4, se puede observar que es posible que algunas de ellas estén correlacionadas con la producción del Laboratorio. A partir de los datos de la cantidad producida y de la cantidad consumida de suministros en los años 2009 y 2010, se calcula el coeficiente de correlación. Tanto la familia de Guantes, como la de Mamelucos y Elementos de Protección Personal se encuentran altamente correlacionadas con la producción. Por tal motivo se aplica un método de pronóstico causal. El resto de las familias no mantienen esta correlación por lo que se establece un método de pronóstico de series de tiempo.

La regresión lineal múltiple es una técnica que intenta modelar probabilísticamente el valor esperado de una variable  $Y$ , a partir de los valores de dos o más predictores  $X_i$ . Los resultados para las familias se observan en la Tabla 1.

Tabla 1 – Resultados de los coeficientes de regresión lineal múltiple

| <b>Familia</b>                   | <b>b<sub>0</sub></b> | <b>b<sub>1</sub></b> | <b>b<sub>2</sub></b> |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Guantes                          | 3479,95              | 104,483              | 0,00012              |
| Mamelucos                        | 422,154              | 49,3                 | 0,0000297            |
| Elementos de Protección Personal | 3009,8               | 12,35                | 0,000075             |

Fuente: Elaborada por los autores

Luego, los resultados del análisis de la demanda pueden observarse en la Tabla 2, donde se aprecia la demanda anual ( $D$ ) por familia de suministro, resultado de la suma del año pronosticado, y la desviación estándar de la demanda ( $Sd$ ), evaluada a partir de las observaciones de los dos años considerados.

Tabla 2 – Resultados del análisis de demanda

| <b>Familia</b>                             | <b><math>D</math></b> | <b><math>Sd</math></b> |
|--|-----------------------|------------------------|
| Guantes                                    | 23570                 | 2003                   |
| Mamelucos                                  | 5062                  | 310                    |
| Elementos de Protección Personal           | 15847                 | 2091                   |
| Elementos críticos para área de producción | 8640                  | 1510                   |

| <b>Familia</b>                 | <b>D</b> | <b>Sd</b> |
|--------------------------------|----------|-----------|
| Rollos bolsas                  | 124      | 8         |
| Elementos de limpieza pasillos | 792      | 30        |
| Elementos para cocina y baño   | 908      | 59        |
| Elementos de cierre            | 24572    | 1051      |
| Elementos de limpieza de áreas | 1928     | 151       |

Fuente: Elaborada por los autores

Cabe aclarar que para poder aplicar la política de inventario seleccionada con anterioridad, es necesario que el coeficiente de variación ( $sd/D$ ) no supere el 20%, debido a que si sucede esto se considera a la demanda como errática.

### 3.6 Análisis del *lead time*

El tiempo de reaprovisionamiento o *lead time* de los suministros, es el tiempo transcurrido desde que el área de Depósito hace un pedido a Compras hasta que se realiza la recepción del material. Incluye, por lo tanto, el tiempo de gestión interna y el tiempo de transporte.

Mientras mayor sea el tiempo de reaprovisionamiento y mayor criticidad tenga el suministro, más importante será contar con *stock* de esos elementos en el almacén. Por el contrario, si el proveedor dispone de suministros y su criticidad es baja, no será necesario contar con un elevado nivel de inventario en el almacén de la empresa.

La obtención de este valor se realiza generalmente mediante un análisis estadístico de los registros. Como no se cuenta con la información de forma organizada y resulta difícil el acceso a la misma, se realizaron entrevistas al personal de Depósito y de Compras para intentar determinar un tiempo aproximado. El tiempo de reaprovisionamiento medio es el siguiente (Ecuación 9):

$$LT_j = LTGI + LTT_j \quad (9)$$

Donde: (i)  $LT_j$ : representa el *lead time* del proveedor de la familia  $j$  en días; (ii)  $LTGI$ : es el *lead time* de gestión interna en días, el cual se estima que es el mismo para cualquier familia y cualquier proveedor; (iii)  $LTT_j$ : es el tiempo de transporte del proveedor de la familia  $j$  en días.

Mediante entrevistas a la encargada de la gestión de compras de suministros, se pudo determinar un  $LTGI$  medio de 14 días. El valor  $LTGI$  encierra la emisión de la solicitud de compras por parte de Depósito, los pedidos de cotización a los proveedores, la espera a la respuesta por parte de los mismos, la conformación de la tabla comparativa, la elección del

más económico y, finalmente, la emisión de la orden de compras.

El  $LTT_j$  también fue determinado mediante entrevistas, considerando la distancia existente entre el proveedor de la familia  $j$  y el Laboratorio, y el tiempo requerido para la preparación del pedido. Para el caso de proveedores locales, este tiempo se estimó en un día. Para el caso de proveedores de Paraná y Rosario, se consideró un tiempo medio de cinco días; esto es así pues éstos realizan viajes a la ciudad de Santa Fe una vez por semana.

Para el proveedor de Buenos Aires se determinó un tiempo medio de diez días. Este último valor es relativamente grande debido a eventuales problemas en la aduana, ya que provee suministros del exterior.

Cabe aclarar que, en la mayoría de los casos, los suministros pertenecientes a una familia pueden ser surtidos por más de un proveedor. Se analizaron las últimas compras y se determinó el  $LTT$  de la familia  $j$  en función del proveedor que mayor participación tuvo. El tiempo de reaprovisionamiento final para cada familia de suministros puede observarse en la Tabla 3.

Tabla 3 – Tiempo de reaprovisionamiento de cada familia

| Familia                                    | LT (días) |
|--|-----------|
| Guantes                                    | 24        |
| Mamelucos                                  | 24        |
| Elementos de Protección Personal           | 24        |
| Elementos críticos para área de producción | 19        |
| Rollos bolsas                              | 19        |
| Elementos de limpieza pasillos             | 19        |
| Elementos para cocina y baño               | 19        |
| Elementos de cierre                        | 15        |
| Elementos de limpieza de áreas             | 19        |

Fuente: Elaborada por los autores

### 3.7 Determinación de costos pertinentes

A continuación se determinan todos los costos pertinentes a la política de inventarios propuesta para una empresa productora de fármacos.

#### 3.7.1 Costo Unitario (Cu)

En primer lugar, se debe determinar un costo unitario por familia. Para su estimación se considera la suma de los costos unitarios de los suministros pertenecientes a la familia, ponderados por su participación dentro de la misma. En la Tabla 4, se presentan los costos unitarios por familia.

Tabla 4 – Costo unitario por familia

| Familia                                    | Cu \$/ud. |
|--|-----------|
| Guantes                                    | 2         |
| Mamelucos                                  | 21,36     |
| Elementos de Protección Personal           | 5,15      |
| Elementos críticos para área de producción | 9,99      |
| Rollos bolsas                              | 17,29     |
| Elementos de limpieza pasillos             | 10,42     |
| Elementos para cocina y baño               | 47,11     |
| Elementos de cierre                        | 24,15     |
| Elementos de limpieza de áreas             | 9,64      |

Fuente: Elaborada por los autores

### 3.7.2 Costo emisión de una orden de compra (Cadq)

El costo de adquisición se refiere a los costos asociados a la generación del pedido de compras. En el momento de realizar una compra se tiende a pensar que el único costo involucrado es el costo del producto, sin embargo existen otros, algunos despreciables o de muy difícil identificación. Los más representativos son: las horas de administración, el uso del teléfono, *fax* y comunicaciones en general, el correo, el costo de transporte (a veces incorporado en el costo del producto), embalaje y seguro hasta la recepción de las mercadería en el almacén, material administrativo necesario para efectuar las órdenes y hacer el seguimiento correspondiente, entre otros. El costo más representativo y de más fácil obtención es el de la hora-hombre del personal de Compras.

El costo de adquisición está conformado por una parte fija ( $O$ ) y una parte variable ( $S_v$ ) dependiente de la familia a solicitar. Para el cálculo de  $O$  se tiene en cuenta las horas-hombre necesarias para realizar las actividades involucradas en el proceso de emisión de una orden, independientemente de los suministros solicitados y las familias involucradas, como así también un valor asociado a los recursos materiales y de comunicación utilizados en dichas tareas.

Para la obtención de estos datos se realizaron entrevistas con el personal de Compras y se determinó que las horas fijas son de 56h. promedio (siete jornadas laborales), mientras que por familia se adhieren 8h. debido a la necesidad de realizar la tabla comparativa para seleccionar el proveedor más económico para cada ítem de cada familia. Esas horas mencionadas deben multiplicarse por el sueldo de la Jefa de Compras, valuado en \$36 por hora. Por otro lado, los recursos materiales y de comunicación fijo se contabilizan en 200 \$/orden y los variables en 30 \$/orden.

Por lo tanto, el costo de adquisición se calcula de la siguiente manera (Ecuación 10):

$$C_{adq} = 0 + \sum S_j = (2016 + 200) \frac{\$}{orden} + (2592 + 270) \frac{\$}{orden} = 5078 \frac{\$}{orden} \quad (10)$$

### 3.7.3 Costo de mantenimiento (Cm)

El costo de almacenamiento está asociado a la tenencia del ítem almacenado, incluyendo los costos del almacén, como ser horas-hombre del personal asignado; seguro; depreciación y obsolescencia de los suministros; alquiler del depósito, si no es propio, o costo de oportunidad del espacio físico cuando sí lo es; electricidad, entre otros.

Al tratarse de una empresa estatal, se encuentra exenta del pago de electricidad. También, por el mismo motivo, no debe pagar seguro. Esto es así, pues posee un autoseguro provisto por el Gobierno. Al ser artículos con alto índice de rotación, los porcentajes de obsolescencia son mínimos.

El costo de almacenamiento puede dividirse, a su vez, en tres partes: (i) Costo de operación del almacén: se refiere a los costos asociados a la mano de obra requerida para el manejo de los suministros en inventario, (ii) Costo edilicio: es el costo asociado al área que ocupa cada suministro en el total del almacén y (iii) Costo de capital inmovilizado: es también llamado costo de oportunidad. Hace referencia a lo que se pierde de ganar por poseer productos en inventario y no invertir en otro proyecto. Generalmente, se asocia este valor al dinero que ganaría si se invirtiera en un plazo fijo.

#### - Costo de operación del almacén

Este costo se determina a partir de la Ecuación 11:

$$CmOA = I \cdot Cu \quad (11)$$

Según entrevistas con el Jefe de Depósito, el 10 % del total de los recursos humanos y de movimiento de materiales anuales que se realizan en el almacén corresponde al total de suministros.

Es necesario prorratear este valor con el objetivo de obtener una tasa por familia. Para su cálculo se considera la participación que tiene cada familia con respecto a las demás, de manera de asignar mayor espacio a aquellas familias de mayor demanda y viceversa. Esta afirmación puede ser errónea si el tamaño de una familia de gran demanda es muy pequeño, como así también si una familia con poca demanda es de gran porte. Para combatir este problema, se plantea un factor de tamaño por familia, el cual corrige dicho inconveniente.

El análisis del factor de tamaño por familia se lleva a cabo teniendo en cuenta tres tipos

de dimensiones: pequeño, mediano y grande, a los cuales se le asigna un valor numérico de 1, 2 y 3 respectivamente. Luego, se calcula el valor promedio del peso obteniéndose un valor 2. Finalmente, haciendo la relación peso de cada familia por el peso promedio, se determina el factor de tamaño para cada familia, lo cual se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5 – Factor de Tamaño

| <b>Familia</b>                             | <b>Peso</b> | <b>Factor de Tamaño</b> |
|--|-------------|-------------------------|
| Guantes                                    | 1           | 0,5                     |
| Mamelucos                                  | 2           | 1                       |
| Elementos de Protección Personal           | 2           | 1                       |
| Elementos críticos para área de producción | 1           | 0,5                     |
| Rollos bolsas                              | 3           | 1,5                     |
| Elementos de limpieza pasillos             | 3           | 1,5                     |
| Elementos para cocina y baño               | 3           | 1,5                     |
| Elementos de cierre                        | 1           | 0,5                     |
| Elementos de limpieza de áreas             | 2           | 1                       |
| PROMEDIO                                   | 2           |                         |

Fuente: Elaborada por los autores

La Ecuación 12 expresa lo mencionado anteriormente:

$$I_{operación_j} = 0,1 \cdot \frac{D_j}{D_{total}} \cdot \text{factor de tamaño}_j \quad (12)$$

Luego, el costo de operación del almacén se calcula mediante la siguiente Ecuación 13:

$$CmOA_j = I_{operación_j} \cdot Cu_j \quad (13)$$

Los resultados para cada familia se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6 – Tasa y Costos de operación del almacén por familia

| <b>Familia</b>                             | <b><math>I_{operación}</math> (1/año)</b> | <b><math>CmOA</math> (\$/ud.año)</b> |
|--|---|--------------------------------------|
| Guantes                                    | 0,014                                     | 0,029                                |
| Mamelucos                                  | 0,006                                     | 0,133                                |
| Elementos de Protección Personal           | 0,019                                     | 0,100                                |
| Elementos críticos para área de producción | 0,005                                     | 0,053                                |
| Rollos bolsas                              | 0,000                                     | 0,004                                |
| Elementos de limpieza pasillos             | 0,001                                     | 0,015                                |
| Elementos para cocina y baño               | 0,002                                     | 0,079                                |
| Elementos de cierre                        | 0,015                                     | 0,364                                |
| Elementos de limpieza de áreas             | 0,002                                     | 0,023                                |

Fuente: Elaborada por los autores

#### - Costo edilicio

Como se expresó anteriormente, este costo se refiere al dinero anual necesario para mantener una unidad dentro del almacén. El almacén del Laboratorio tiene un volumen de 6.615 m<sup>3</sup>. Para este cálculo se supone que el depósito es alquilado. El precio del alquiler de



un depósito con las dimensiones y la ubicación semejante al que posee el Laboratorio es de aproximadamente 32.300 \$/año.

Para facilitar los cálculos se considera un volumen promedio para cada artículo de cada familia. Luego, el costo edilicio para un suministro de cada familia es el siguiente (Ecuación 14):

$$CmE = \frac{\text{costo alquiler anual}}{\text{volumen de almacén}} \cdot V_{\text{promedio}} \quad (14)$$

En la Tabla 7 se presentan el volumen promedio de cada familia y su respectivo costo edilicio.

Tabla 7 – Volumen promedio y costo edilicio por familia

| <b>Familia</b>                             | <b><math>V_{\text{promedio}}</math> (m<sup>3</sup>/ud)</b> | <b><math>CmE</math> (\$/ud.año)</b> |
|--|--|-------------------------------------|
| Guantes                                    | 0,003  | 0,015                               |
| Mamelucos                                  | 0,0098   | 0,0048                              |
| Elementos de Protección Personal           | 0,0023   | 0,011                               |
| Elementos críticos para área de producción | 0,0096   | 0,047                               |
| Rollos bolsas                              | 0,002  | 0,009                               |
| Elementos de limpieza pasillos             | 0,024  | 0,11                                |
| Elementos para cocina y baño               | 0,0056   | 0,0027                              |
| Elementos de cierre                        | 0,01   | 0,049                               |
| Elementos de limpieza de áreas             | 0,0013   | 0,006                               |

Fuente: Elaborada por los autores

#### - Costo de capital inmovilizado y obsolescencia

Consiste en un costo de oportunidad que, al tratarse de una Sociedad del Estado, es difícil de calcular dado que el Gobierno de la Provincia no invertiría en un plazo fijo. Sin embargo, como aproximación, se adopta como valor un 9% anual, que es la tasa que actualmente otorga el Banco de la Nación Argentina por un depósito a plazo fijo.

Por otro lado, y mediante entrevistas con el Jefe de Depósito, se determinó que del total de suministros almacenados anualmente, el 3% anual se rompe o se vence, lo cual puede considerarse como una tasa de obsolescencia.

La tasa obtenida a partir de la suma de los dos costos antes mencionados, debe multiplicarse por el costo unitario de la familia (Tabla 5). Los resultados pueden observarse en la Tabla 8.

Tabla 8 – Costo de Capital Inmovilizado por familia

| <b>Familia</b>                             | <b><math>CmCI</math> (\$/ud.año)</b> |
|--|--------------------------------------|
| Guantes                                    | 0,24                                 |
| Mamelucos                                  | 2,56                                 |
| Elementos de Protección Personal           | 0,62                                 |
| Elementos críticos para área de producción | 1,20                                 |

| <b>Familia</b>                 | <b><i>CmCI</i> (\$/ud.año)</b> |
|--------------------------------|--------------------------------|
| Rollos bolsas                  | 2,07                           |
| Elementos de limpieza pasillos | 1,25                           |
| Elementos para cocina y baño   | 5,65                           |
| Elementos de cierre            | 2,90                           |
| Elementos de limpieza de áreas | 1,15                           |

Fuente: Elaborada por los autores

Finalmente, el costo de mantenimiento por familia surge de la suma del Costo de Operación del Almacén, el Costo Edificio y el Costo de Capital Inmovilizado y obsolescencia (Ecuación 15):

$$Cm_j = CmOA_j + CmE_j + CmCI_j \quad (15)$$

Los resultados pueden apreciarse en la Tabla 9.

Tabla 9 – Costo de mantenimiento por familia

| <b>Familia</b>                             | <b><i>Cm</i> (\$/ud.año)</b> |
|--|------------------------------|
| Guantes                                    | 0,284                        |
| Mamelucos                                  | 2,698                        |
| Elementos de Protección Personal           | 0,731                        |
| Elementos críticos para área de producción | 1,300                        |
| Rollos bolsas                              | 2,083                        |
| Elementos de limpieza pasillos             | 1,375                        |
| Elementos para cocina y baño               | 5,731                        |
| Elementos de cierre                        | 3,313                        |
| Elementos de limpieza de áreas             | 1,179                        |

Fuente: Elaborada por los autores

### 3.7.4 Costo de ruptura de *stock* (k)

Este valor hace referencia al costo en que se incurre cuando no se tiene un suministro en el momento en que se lo precisa y se divide en dos: costos por pérdidas de ventas y costos por pedido pendiente. El primero es el beneficio que se hubiera obtenido de una venta en particular que fue cancelada; mientras que el segundo ocurre cuando un cliente queda a la espera de su pedido, por lo que la venta no está perdida, sólo retrasada, pero éste debe ser atendido a través de otro canal de distribución diferente del normal.

Al tratarse de una organización sin fines de lucro, el costo por pérdida de ventas es considerado nulo, ya que el producto no es vendido y el pedido siempre debe ser atendido. Sin embargo, el costo por pedido pendiente puede ser tratado mediante dos enfoques diferentes, según la influencia que tenga la familia de suministros en la producción del Laboratorio. Para aquellas familias que tienen un impacto directo sobre la producción, se considera para este valor el costo de los días improductivos. En cambio, para las demás familias sólo se tendrá en

cuenta el costo adicional en que se incurre por comprarlo a un proveedor diferente.

*- Costo por falta de existencias para familias que influyen en la producción*

El costo por día improductivo ha sido calculado recientemente por la empresa. Los valores fueron determinados teniendo en cuenta factores tales como: (i) tiempo ocioso por parte de los operarios y (ii) tiempo ocioso de máquinas y equipos. A continuación se detallan los costos por cada línea: (i) Comprimidos I = 3.192,02 \$/día; (ii) Comprimidos II = 2.653,45 \$/día y (iii) Suspensiones = 1.931,62 \$/día.

Para obtener el costo por falta de existencias se deben sumar los valores antes mencionados, ya que si el Laboratorio no cuenta con determinado suministro, todas las líneas se detendrán. Luego, a esta suma se la debe multiplicar por un tiempo de aprovisionamiento, debido a que ante esta situación crítica se acelera tanto el proceso de gestión interna como el de transporte. Mediante entrevistas se logró determinar un valor promedio de tres días. Por lo tanto, el costo de ruptura de *stock* para familias críticas  $k_c$  es de (Ecuación 16):

$$k_c = (3192,02 + 2653,45 + 1931,62) \frac{\$}{\text{día}} \cdot 3 \text{ día} = \$23331,27 \quad (16)$$

*- Costo por falta de existencias para familias que no impactan en la producción*

Este costo ( $k_{nc}$ ) se compone de una parte variable y una fija. En la Tabla 10 se presenta el costo marginal en que se incurre por comprar a un proveedor diferente al de uso regular.

Tabla 10 – Costo marginal (en \$/ud) por faltas de existencias de familias que no impactan en la producción

| <b>Familia</b>                 | <b>Cu Canal Normal</b> | <b>Cu Canal Alternativo</b> | <b>Costo Marginal</b> |
|--------------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Rollos bolsas                  | 17,29                  | 18                          | 0,71                  |
| Elementos de limpieza pasillos | 10,42                  | 11,95                       | 1,53                  |
| Elementos para cocina y baño   | 47,11                  | 50,22                       | 3,11                  |
| Elementos de cierre            | 24,15                  | 27,42                       | 3,27                  |
| Elementos de limpieza de áreas | 9,64                   | 10,42                       | 0,78                  |

Fuente: Elaborada por los autores

Para llevar a cabo esta compra alternativa es necesario, además, que el personal de Compras deje de hacer lo que tiene planificado. Esto genera un costo asociado a la realización de expedientes y demás tareas que debe ser incluido en el costo por falta de existencias. Además, se incurre en un costo adicional de contratar un cadete que lleve a cabo la compra en el local del proveedor alternativo.

Se considera que el personal de Compras requiere tres horas para realizar las actividades

necesarias, y el cadete otras tres horas para efectuar la compra propiamente dicha. La Jefa de Compras cobra 36 \$/hora, mientras que el cadete tiene un costo promedio de 30 \$/hora. Por lo tanto, el costo por faltas de existencias de familias que no impactan en la producción es el siguiente Ecuación (17):

$$k_{nc-fijo} = 3 \text{ hs}(36 + 30) \frac{\$}{\text{hs.orden}} = 198 \frac{\$}{\text{orden}} \quad (17)$$

### 3.8 Análisis de probabilidad de cobertura

Como se mencionó con anterioridad, la probabilidad de cobertura ( $P$ ) representa la probabilidad de cubrir la demanda durante el tiempo de entrega ( $LT$ ).

Con el objetivo de evaluar qué valor de  $P$  se le debe asignar a cada familia, se procede a realizar un Análisis de Sensibilidad en función del costo de ruptura de *stock* sumado al costo de *stock* de seguridad. Se consideran sólo estos costos ya que los demás no son afectados por este parámetro.

De la Ecuación 6, que expresa los costos totales de la política, se pueden extraer los términos de costos de ruptura de *stock* y de *stock* de seguridad (Ecuación 18 y 19):

$$C_{ruptura \text{ stock}} = \frac{K_c.E(z)_c + k_{nc-fijo}[E(z)_i + E(z)_p] + \sum_{j>4} k_{nc-var_j} \cdot s'_{dj} E(z)_j}{T} \quad (18)$$

$$C_{stock \text{ seguridad}} = I \cdot \sum_j C u_j \cdot z_j \cdot s'_{dj} \quad (19)$$

El numerador de la primer ecuación se divide en tres términos: el primero denota la parte del costo para las familias que impactan en la producción y el segundo y el tercer término, para las partes fija y variable, respectivamente, de las familias importantes y prescindibles, que no impactan directamente en la producción.

Como puede observarse, la Ecuación 18 depende del tiempo de revisión  $T$ .

Recordando la Ecuación 7 y adaptándola al caso en estudio:

$$T^* = \sqrt{\frac{2[(O + \sum_j S_j)] + k_c.E(z)_c + k_{nc-fijo}[E(z)_i + E(z)_p] + \sum_{j>4} k_{nc-var_j} \cdot s'_{dj} E(z)_j}{I \cdot \sum_j C u_j \cdot D_j}} \quad (20)$$

Analizando la expresión (20), se deben hacer dos consideraciones importantes:

- Por un lado,  $s'_{dj}$  se calcula mediante la expresión (6). Es decir, su determinación depende de la variable que se intenta calcular. Para combatir este inconveniente, el valor de  $T$  que se utiliza para el cálculo de  $s'_{dj}$  es una simplificación de la ecuación

(20), la cual no considera los costos de ruptura de *stock*, pero lleva a resultados similares en cuanto al valor numérico de  $s'_{dj}$ . La expresión es la siguiente (Ecuación 21):

$$T^* = \sqrt{\frac{2[(O + \sum_j S_j)]}{I \cdot \sum C u_j D_j}} \quad (21)$$

- Por otro lado, la determinación de  $T^*$  también depende de la variable  $E(z)$ , la cual surge de  $P$ , que es la que se intenta optimizar. Por ende, tanto la probabilidad de cobertura como el período de revisión deben determinarse en forma conjunta.

Para llevar a cabo este análisis se procede a definir dos valores por cada criticidad con el objetivo de evaluar cuál de ellos es el de menor costo. Para cada criticidad se consideraron los siguientes estados: (i) Crítico: una probabilidad de cobertura de 96 y 98 %; (ii) Importante: una  $P$  de 91 y 93 % y (iii) Prescindible: una  $P$  de 86 y 88 %.

En resumen, se deben analizar ocho escenarios, los cuales representan las posibles combinaciones de dichos estados. El procedimiento para definir los valores de las variables  $P$  y  $T^*$  se explica a continuación:

1. Se selecciona un escenario. Para cada  $P$  se buscan los correspondientes valores de  $z$  y  $E(z)$  en la tabla de una distribución normal;
2. Se obtiene  $s'_{dj}$  por medio de la fórmula (6) y de la ecuación (21);
3. Se calcula  $T^*$  a través de la expresión (20);
4. Se determinan los costos por falta de existencias y de *stock* de seguridad mediante las ecuaciones (18) y (19), y se suman;
5. Se repiten los pasos 1 a 4 para todos los escenarios;
6. Se selecciona el estado que minimice la suma de los costos considerados.

Los valores de  $s'd$  obtenidos para cada familia se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11 – Valores de  $s'd$  para cada familia de suministros

| Familia                                    | $s'_a$ (unidades) |
|--|-------------------|
| Guantes                                    | 1213,135          |
| Mamelucos                                  | 187,754           |
| Elementos de Protección Personal           | 1266,433          |
| Elementos críticos para área de producción | 890,623           |
| Rollos bolsas                              | 4,719             |
| Elementos de limpieza pasillos             | 17,694            |
| Elementos para cocina y baño               | 34,799            |

| Familia                        | s <sup>a</sup> (unidades) |
|--------------------------------|---------------------------|
| Elementos de cierre            | 606,248                   |
| Elementos de limpieza de áreas | 89,062                    |

Fuente: Elaborada por los autores

Los resultados del análisis de sensibilidad se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12 – Análisis de sensibilidad para determinar de P y T\* en función de los costos de ruptura de *stock* y de *stock* de seguridad

| Escenarios | P [%] | z     | E(z)   | T*[año] | Crupstock [\$/año] | Cstockseg [\$/año] | Total [\$/año] |
|------------|-------|-------|--------|---------|--------------------|--------------------|----------------|
| 1          | 96    | 1,750 | 0,0162 | 0,29059 | 1908,948           | 7697,827           | 9606,775       |
|            | 91    | 1,340 | 0,0418 |         |                    |                    |                |
|            | 86    | 1,080 | 0,0714 |         |                    |                    |                |
| 2          | 96    | 1,750 | 0,0162 | 0,28978 | 1805,127           | 7625,002           | 9730,129       |
|            | 93    | 1,475 | 0,031  |         |                    |                    |                |
|            | 88    | 1,175 | 0,059  |         |                    |                    |                |
| 3          | 96    | 1,750 | 0,0162 | 0,29052 | 1899,495           | 7712,003           | 9611,498       |
|            | 93    | 1,475 | 0,031  |         |                    |                    |                |
|            | 86    | 1,080 | 0,059  |         |                    |                    |                |
| 4          | 96    | 1,750 | 0,0162 | 0,28985 | 1814,628           | 7910,826           | 9425,454       |
|            | 91    | 1,340 | 0,0418 |         |                    |                    |                |
|            | 88    | 1,175 | 0,059  |         |                    |                    |                |
| 5          | 98    | 2,055 | 0,0073 | 0,28519 | 1217,026           | 8592,900           | 9809,926       |
|            | 91    | 1,340 | 0,0418 |         |                    |                    |                |
|            | 86    | 1,080 | 0,0714 |         |                    |                    |                |
| 6          | 98    | 2,055 | 0,0073 | 0,28435 | 1109,303           | 8820,074           | 9929,378       |
|            | 93    | 1,475 | 0,031  |         |                    |                    |                |
|            | 88    | 1,175 | 0,059  |         |                    |                    |                |
| 7          | 98    | 2,055 | 0,0073 | 0,28443 | 1119,162           | 8805,899           | 9925,061       |
|            | 91    | 1,340 | 0,0418 |         |                    |                    |                |
|            | 88    | 1,175 | 0,059  |         |                    |                    |                |
| 8          | 98    | 2,055 | 0,0073 | 0,28511 | 1207,219           | 8607,076           | 8914,294       |
|            | 93    | 1,475 | 0,031  |         |                    |                    |                |
|            | 86    | 1,080 | 0,0713 |         |                    |                    |                |

Fuente: Elaborada por los autores

Se escoge el primer escenario, en el cual se evidencia una probabilidad de cobertura de 96, 91 y 86% para las familias críticas, importantes y prescindibles, respectivamente, y un período de revisión de 0,571 año, que equivale a 6 meses y tres semanas.

### 3.9 Estimación del nivel máximo para cada familia M\*j

Con los cálculos previos y utilizando la expresión (8), se obtienen los niveles máximos de suministros por familia, que se muestran en la Tabla 13.

| Familia                          | M* (unidades) |
|----------------------------------|---------------|
| Guantes                          | 11115         |
| Mamelucos                        | 2260          |
| Elementos de Protección Personal | 8262          |

| <b>Familia</b>                             | <b>M* (unidades)</b> |
|--|----------------------|
| Elementos críticos para área de producción | 4691                 |
| Rollos bolsas                              | 50                   |
| Elementos de limpieza pasillos             | 306                  |
| Elementos para cocina y baño               | 367                  |
| Elementos de cierre                        | 9191                 |
| Elementos de limpieza de áreas             | 818                  |

Fuente: Elaborada por los autores

En la Tabla 14 se determina el target de cada artículo en unidades, considerando la Tabla 13 y la participación de cada suministro dentro de la familia.

Tabla 14 – Nivel Máximo de Suministro por artículo

| <b>Familia</b> | <b>Participación %</b> | <b>M</b> | <b>Familia</b> | <b>Participación %</b> | <b>M</b> |
|----------------|------------------------|----------|----------------|------------------------|----------|
|                |                        |          |                | 0,25                   | 77       |
|                | 0,27                   | 3001     | Elementos de   | 0,42                   | 129      |
| Guantes        | 0,31                   | 3446     | limpieza       | 0,05                   | 15       |
| (crítica)      | 0,28                   | 3112     | pasillos       | 0,05                   | 15       |
|                | 0,14                   | 1556     | (prescindible) | 0,22                   | 67       |
|                |                        |          |                | 0,01                   | 3        |
|                |                        |          |                | 0,03                   | 11       |
|                |                        |          |                | 0,36                   | 132      |
|                | 0,37                   | 836      | Elementos      | 0,08                   | 29       |
| Mamelucos      | 0,58                   | 1311     | para cocina y  | 0,02                   | 7        |
| (crítica)      | 0,01                   | 23       | baño           | 0,11                   | 40       |
|                | 0,04                   | 90       | (prescindible) | 0,04                   | 15       |
|                |                        |          |                | 0,16                   | 59       |
|                |                        |          |                | 0,02                   | 73       |
|                | 0,56                   | 4627     |                | 0,48                   | 4412     |
| Elementos de   | 0,27                   | 2231     | Elementos de   | 0,21                   | 1930     |
| Protección     | 0,11                   | 909      | cierre         | 0,08                   | 735      |
| Personal       | 0,01                   | 83       | (prescindible) | 0,15                   | 1379     |
| (crítica)      | 0,05                   | 413      |                | 0,08                   | 735      |
| Elementos      | 0,24                   | 1126     |                | 0,77                   | 630      |
| críticos para  | 0,01                   | 47       |                | 0,12                   | 98       |
| área de        | 0,01                   | 47       | Elementos de   | 0,11                   | 90       |
| producción     | 0,04                   | 188      | limpieza de    |                        |          |
| (crítica)      | 0,7                    | 3284     | áreas          |                        |          |
| Rollos bolsas  | 0,32                   | 16       | (importante)   |                        |          |
| (prescindible) | 0,31                   | 16       |                |                        |          |
|                | 0,37                   | 19       |                |                        |          |

Fuente: Elaborada por los autores

### 3.10 Determinación del Costo Total de la política

Finalmente, luego de haber calculado los parámetros pertinentes a la política propuesta, es posible estimar el costo total de un período de revisión. La determinación de este costo se basa en la Ecuación 5, y el resultado obtenido es el siguiente:

$$CT = (988362,17 + 17474,54 + 19383,49 + 7697,83 + 1908,94) \frac{\$}{\text{año}}$$

$$\therefore CT = 1034826,97 \frac{\$}{\text{año}}$$

Es necesario aclarar algunas cuestiones respecto a la implementación de la política. En primer lugar, los parámetros utilizados para los cálculos numéricos son representativos de la situación del año 2011. Estos deben ser actualizados cada seis meses en función de los distintos escenarios económicos. Los valores que se deben revisar y actualizar son los siguientes: (i) tasa del plazo fijo del Banco Nación, (ii) precio del alquiler del depósito, (iii) costo unitario, tanto por canal normal como alternativo, y (iv) costo de la hora-hombre del personal. La demanda de los suministros y su respectiva desviación se recalcula anualmente.

#### 4 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha desarrollado la optimización del Sistema de Inventario de Suministros de una industria productora de fármacos, que permite disminuir los costos de adquisición y de compras. Al realizar compras planificadas, donde todos los ítems se solicitan a un mismo proveedor, pudiendo seleccionar aquel que ofrezca mayores beneficios y menores costos logísticos y administrativos, conlleva a una disminución de las horas-hombre del personal, combustible, gastos de oficina, etc.

Si bien se espera que la propuesta brinde importantes beneficios a la empresa, cabe aclarar que el modelo propuesto se basa en una gran cantidad de datos que deben ser actualizados periódicamente. De lo contrario, la política propuesta no resultará efectiva.

Otro aspecto a tener en cuenta, es que todo cambio en la forma de operación de una empresa puede generar ciertos rechazos por parte del personal involucrado. Existen mayores posibilidades de que el cambio perdure en el tiempo si los que deben realizar las tareas necesarias entienden las consecuencias de hacerlas correctamente. La política planteada en el presente trabajo requiere de cambios y modificaciones del sistema actual, por lo tanto para lograr su implementación en forma efectiva, necesita del compromiso de todos los actores de la empresa.

En síntesis, se considera que la política de inventario de suministros propuesta para una PyME productora de fármacos de Santa Fe, proporciona beneficios fácilmente medibles que justifican el esfuerzo y los recursos necesarios para su implementación.



## OPTIMIZATION OF AN INVENTORY SYSTEM IN A DRUG COMPANY

**ABSTRACT:** The purpose of inventory management is not satisfying the demand instantly, because companies should store large amounts of their products, resulting in high costs of stocks. Companies should determine the appropriate level of inventories, seeking a balance between stocks and their maintenance cost. In this paper an optimization of the supplies inventory system of a drug company from Santa Fe, Argentina is performed. To achieve this objective, the performance of organization's logistics is analyzed and a methodology for the study of criticality of supplies is designed, determining which ones should remain in stock. With this information and considering stock management models in the literature, the Periodic Review Method is selected as the most appropriate method and the corresponding parameters are determined. With the implementation of the proposal, it is possible to minimize time and costs, arising from lack of supplies, as well as a decrease in the cost of acquiring them on planned purchases.

**Keywords:** Inventory system. Supplies. SME.

### REFERENCIAS

BALLOU, R. Logística: **Administración de la cadena de suministros**. Ed. Pearson Educación. México, 2004.

CHAPMAN, S. **Planificación y Control**. Ed. Pearson Educación. México, 2006.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Administración de la Cadena de Suministro: Estrategia, Planeación y Operación**. Ed. Pearson Educación. México, 2008.

PAU COS, J; DE NAVACUÉS, R. **Manual de Logística Integral**. Ed. Díaz de Santos. Madrid, 2001.

SERRA DE LA FIGUERA, D. **La Logística Empresarial en el Nuevo Milenio**. Ed. Gestión 2000. España, 2005.

SORET LOS SANTOS, I. **Logística y Marketing para la Distribución Comercial**. Ed. ESIC. España, 2006.

Originals recebidos em: 11/04/2012

Aceito para publicação em: 18/12/2012