

# Modelo de medición del impacto financiero del mantenimiento de inventario de suministros

## Measurement model of financial impact of stock of supplies

Gloria Stella Ramírez-Reyes<sup>1\*</sup>, Diego Fernando Manotas-Duque<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>M.Sc. Ingeniería Industrial, Grupo de Investigación: Gestión, Innovación y Valor, Universidad del Valle Sede Buga, Buga, Colombia

Correo-e: gloria.ramirez@correounivalle.edu.co

Correo-e: diego.manotas@correounivalle.edu.co

**Resumen**— Los inventarios constituyen en la mayoría de los casos, uno de los principales componentes del capital de trabajo de las organizaciones y las decisiones de inversión en este rubro, por tanto, deberían tomarse teniendo en cuenta además del factor costo, que es el principal objetivo de los enfoques de gestión, algunos elementos asociados al riesgo y rendimiento de las mismas. Este artículo plantea un modelo para determinar el impacto financiero de las decisiones referentes a la definición de niveles de inventarios de suministros y se propone como una herramienta de apoyo para la toma de este tipo de decisiones, incorporando metodologías del análisis de riesgo de inversiones a la gestión de inventarios, considerando que los inventarios son una inversión en capital de trabajo. Finalmente muestra mediante un ejemplo de aplicación como estas decisiones contribuyen al mejoramiento de los indicadores financieros de la empresa.

**Palabras Claves**— Gestión de inventarios, Análisis de riesgo.

**Abstract**— Inventories are in most cases, one of the main components of working capital in organizations, and investment decisions in this area, therefore, should be taken by having in mind the cost factor, which is the main objective of management approaches, some elements associated with the risk and the return of them. This article presents a model to determine the financial impact of decisions on the definition of supply inventory levels and it is proposed as a support tool for making these decisions, incorporating methodologies of risk analysis of investment in inventory management, considering that the inventories are an investment in working capital. Finally the article shows by example how these decisions contribute to the improvement of the company's financial indicators.

**Key Word**— Inventory Management, Risk Analysis.

### I. INTRODUCCIÓN

Hace ya más de 50 años, se creó la teoría moderna de inventarios, la cual tenía un estricto enfoque en el costo, de reabastecimiento y de mantenimiento, así como costos de escasez. Aunque algunos autores consideraban restricciones

de presupuesto, la mayoría consideraban ilimitada la cantidad disponible de efectivo para inventarios, y su enfoque ha estado en la minimización de los costos totales esperados. Sin embargo últimamente se han tenido en cuenta las herramientas de la matemática financiera para combinar control de inventarios con políticas de inversión.

En los sistemas de cantidad fija de pedido, por lo general, se supone que se lleva contabilidad perpetua de inventarios, en la cual los registros se realizan al momento de agregar o sacar materiales del inventario y con este método se puede saber la cantidad de inventario disponible en cualquier momento. Para este sistema son importantes las decisiones respecto a la cantidad a pedir y en qué punto hacerlo. Considerando supuestos como el conocimiento de la demanda, la facilidad en la estimación de costos de almacenamiento y costos de pedido de materiales, el consumo a una tasa uniforme, *la poca importancia de tener faltantes*, se podría utilizar el modelo de cantidad económica de pedido (EOQ), y con algunas variaciones en los supuestos el modelo EOQ para lotes de producción y el modelo EOQ con descuentos por cantidad.

Sin embargo en el mantenimiento de algunos artículos como es el caso de los suministros de fábrica, se hace necesario hacer consideraciones adicionales para determinar el stock que debe mantenerse procurando no interrumpir el proceso de fabricación pero a la vez atendiendo los requerimientos del área financiera de realizar las inversiones mínimas para garantizar el uso adecuado del capital de trabajo.

### II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Según Lenard y Roy, citados por Dos Santos y Araujo [1], el control de los niveles de inventarios estudiado por Harris en 1913, el cual busca introducir una fórmula de lote económico de pedido, es de vital importancia para la optimización del flujo de materiales en una empresa, ya que

los niveles de inventario representan gran parte de los costos logísticos. Adicionalmente consideran que el ritmo de producción no debe ser interrumpido debido a que los costos de mantenimiento de los inventarios representan un capital parado que podría estar siendo utilizado para otros fines en la organización.

Pero para el caso de empresas detallistas, estos modelos clásicos, no reflejan una situación real, Silver y Peterson, citados por Zhou y Yang [2], observaron la presencia en las tiendas, de grandes cantidades de los mismos ítems, lo cual tenía como propósito atraer más clientes. Esto implica que el hecho de tener el nivel de inventario más alto, probablemente haría que el minorista vendiera más artículos. Bajo esta situación se puede inferir que dependiendo de la tasa de demanda de un ítem, así mismo debería depender el nivel de inventario del mismo.

Zhou y Yang [2] proponen entonces otra variación al modelo EOQ, en este caso para dos tipos de almacenes y tasa de demanda dependiente del inventario. Básicamente considerando las limitaciones de almacenes propios y la capacidad ilimitada de almacenes alquilados, facilitando así la toma de decisiones de si alquilar o no y de cómo ordenar.

Ray y Chaudhuri [3], plantean un modelo derivado del EOQ, desarrollado como un modelo determinístico para ítems con una tasa de demanda dependiente del nivel de inventario en cualquier instante y considerando además el valor del dinero en el tiempo y tasas de inflación interna de la compañía y externa de la economía general.

Bulinskaya [4] en su artículo "Control de inventarios y políticas de inversión" busca llamar la atención de los investigadores de inventarios, para abrirse a nuevas perspectivas para el tratamiento de problemas de inventarios dentro de un más amplio alcance de la administración del riesgo financiero.

Por su parte Luciano y Pecati [5], plantean el uso de técnicas de valor presente ajustado, aplicadas a la gestión de inventarios y la necesidad de un tratamiento correcto de los aspectos financieros involucrados, considerando la estructura de capital de esta inversión. Desde un enfoque financiero la administración de inventarios debe centrarse en la evaluación y control de fondos en inventarios con el propósito de permitir el aumento de su rendimiento.

En la medida en que se enfrenta a la incertidumbre del futuro de estas variables, es necesario considerar los distintos cursos de acción posibles y las consecuencias que cada uno de ellos tiene si se presentan diferentes escenarios [6]. Por este motivo el análisis de riesgos está íntimamente relacionado con el proceso de toma de decisiones de los diferentes recursos o activos que componen la empresa.

Los autores mencionan los diferentes tipos de riesgo a los que se ve enfrentada una organización y sobre los cuales se debe prever su comportamiento para minimizar su impacto

en las utilidades, entre los que se encuentran los riesgos de liquidez, que son los riesgos relacionados con la probabilidad de no poder comprar o vender los activos o instrumentos que se tengan o se deseen tener en posición en las cantidades requeridas.

Se puede observar que dentro de la clasificación de los riesgos, encontramos los asociados a la compra de activos (Inventarios), los cuales, si no se tiene definida una política clara de las cantidades requeridas (máximos y mínimos), una inadecuada decisión en este aspecto puede afectar las utilidades de la empresa.

Esta apreciación expresada por los autores, nos confirma la importancia de establecer un modelo que le permita a las empresas definir políticas claras sobre la administración de sus inventarios, los cuales tienen un efecto directo en los indicadores financieros de las mismas.

Jammernegg y Kischka [7] plantean como recientemente el enfoque de administración de inventarios se ha tornado hacia la función objetivo de aversión al riesgo, en lugar de mantenerse en el enfoque de minimizar los costos o maximizar los beneficios esperados. Ellos proponen un modelo evaluado en productos de ciclo de vida corto, para el caso del vendedor de noticias, donde la función objetivo está dada por una mezcla de utilidades y déficit esperados, como valor en riesgo condicional, considerando que la distribución de demanda no es conocida con exactitud. Tomar decisiones de inventario robustas, tiene en cuenta la posibilidad que la distribución de demanda puede cambiar desde el tiempo de ordenar hasta el inicio de la temporada de venta. En general estas decisiones solo pueden ser obtenidas mediante la simulación.

Según Szegö [8], los orígenes de medida de riesgo se dan antes de la era Pre-Markowitz, donde el riesgo financiero fue considerado como un factor de corrección del retorno esperado y el retorno ajustado de riesgo fue definido sobre una base ad hoc. Esta medida primitiva tenía la ventaja de permitir un orden preferencial inmediato de todas las inversiones. Markowitz citado por Szegö [8], propuso la medida de riesgo asociado al retorno de cada inversión por el significado de la desviación media de la distribución del retorno, la varianza, y en el caso del portafolio de activos, evaluar el riesgo mediante la covarianza entre todos los pares de inversiones.

En 1994, entonces aparece el concepto de Valor en Riesgo, con una tarea precisa de responder a las siguientes preguntas: ¿cuánto se espera perder ya sea en un día, una semana, o un año, con una probabilidad dada? y ¿cuál es el porcentaje del valor de la inversión que está en riesgo?. La teoría del VaR (Value at Risk)<sup>1</sup>, plantea la evaluación del riesgo presente en un portafolio de inversiones medido como la mínima pérdida esperada para un período de tiempo

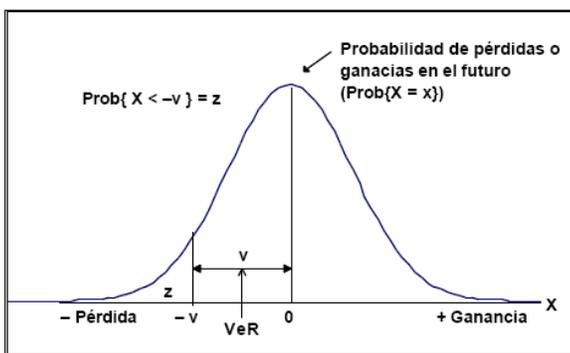
<sup>1</sup> También conocido como VeR por sus siglas en español Valor en Riesgo

específico y bajo un nivel de confianza determinado; generalmente se supone un comportamiento de normalidad en la variable analizada.

La medida del VaR, es una estimación estadística, que como tal, requiere del establecimiento de una serie de parámetros, tales como un intervalo o nivel de confianza asociado al cálculo, que en términos generales oscila entre el rango del 95% al 99%, pero la elección de este nivel, dependerá del grado de aversión al riesgo, así como del costo que supone sobrepasar la cifra VaR; un plazo, que depende básicamente del tiempo necesario para la liquidación o cobertura de una posición; una moneda de referencia, con el fin de identificar la influencia del riesgo de tipo de cambio; una hipótesis sobre la distribución de la variable analizada; una metodología de estimación, definida para su cálculo, dado que metodologías diferentes pueden llevar a diferentes estimaciones, más o menos precisas. Feria y Oliver, [9].

Entre las metodologías de estimación de este cálculo se pueden distinguir tres familias, el método analítico o paramétrico, basado en la matriz de varianzas-covarianzas, caracterizado por la facilidad de aplicación, el enfoque de simulación histórica y el método Montecarlo que toma un número de escenarios generados aleatoriamente, con el fin de establecer la probabilidad de ocurrencia del hecho.

Blanco [10], resalta la importancia de puntualizar que el valor en riesgo, no representa el peor escenario que puede producirse, sino más bien un nivel de pérdidas que se produce con relativa frecuencia, la cual será función del nivel de confianza elegido para calcular el VaR. La siguiente gráfica muestra la aplicación del concepto de valor en riesgo.



**Figura 1** Representación gráfica del concepto de valor en riesgo. Blanco [10].

Matemáticamente, el VaR es el  $(1 - \alpha)$ -cuantil de la distribución P/G (Pérdidas/Ganancias), es decir, que satisface la relación:  $P[v(w) \leq \text{VaR}] = 1 - \alpha$  donde  $v(w)$  denota el cambio en el valor de la cartera –llamado P/G– e implica que  $v(0) = 0$  y suponemos que la distribución de P/G es una función continua y estrictamente monótona. Una cuestión importante es que el valor de  $\alpha$  sea un nivel de confianza adecuado. García y Martínez, [11].

El valor en riesgo, puede extenderse en su aplicación. Manotas [12], en su artículo plantea, como tradicionalmente las organizaciones utilizan la relación costo-beneficio como criterio para la toma de decisiones sobre un proyecto de inversión, para la evaluación de la gestión del mismo, se utilizan indicadores tales como periodo de pago, valor presente neto y tasa interna de retorno entre otras. Sin embargo, estas herramientas tradicionales de evaluación no son las más recomendables para proyectos que involucren decisiones estratégicas que están sujetas a un alto grado de incertidumbre y que pueden ser afectadas por un amplio número de escenarios futuros.

Para este tipo de decisiones estratégicas afectadas por múltiples escenarios, se utilizan dos métodos para considerar el riesgo inherente en un proyecto de inversión, tales como la tasa de descuento ajustada por riesgo y consideración de las compensaciones adecuadas entre riesgo y retorno esperado.

Se puede observar que dentro de las organizaciones es importante administrar los inventarios como un proyecto de inversión, ya que esto involucra tomar decisiones que permanentemente se ven afectadas por un amplio conjunto de escenarios que obliga a evaluar los posibles riesgos que tiene una política de administración de inventarios.

Según Ye y Tiong citados por Manotas [12], dicen que la valoración de proyectos se puede realizar con base en una clasificación de tres categorías, como son el retorno esperado, el riesgo al que se exponen los proyectos y métodos que consideren tiempo, riesgo y retorno esperado. En la primera de las clasificaciones, el proyecto es viable cuando su indicador (tasa) es mayor que un valor mínimo dado por el inversionista. En el segundo y tercero de los casos, es decir, métodos que consideren el riesgo, éstos dan lugar a la creación de sistemas de evaluación que permitan comparar los resultados del proyecto con los de una autoridad acreditada y de esta forma juzgar su bondad económica.

Para analizar el riesgo de un proyecto, proponen que se puede adoptar la lógica de medición del riesgo financiero conocido como el VaR. En la administración de inventarios esta herramienta de decisión VaR facilitaría la adopción de políticas administrativas y adicionalmente permitiría introducir la evaluación de variables internas y externas cuyo comportamiento influye en los niveles de inventario de las organizaciones.

Tapiero [13], plantea que el control de inventarios por lo general, se enfoca en modelos teóricos de limitada utilidad, sumándose, la forma como se mide su costo de administración, que ha sido ajena a los ingresos generados por el mantenimiento de inventarios y a las dificultades de estimar los costos por escasez. Estos modelos básicamente se han enfocado en la minimización de los costos. En los últimos años, sin embargo, la gestión financiera, viene

incrementando el uso del VaR, como un mecanismo de medida y administración de la exposición al riesgo.

Esta teoría de valor en riesgo, al ser aplicada a un portafolio de inversiones, podría aplicarse igualmente a la evaluación del riesgo existente en la inversión en inventarios. Tapiero, [13]. Aunque la solución matemática todavía presenta algunas dificultades, se aplicaría mediante el uso de técnicas de simulación, para encontrar las soluciones apropiadas.

Para el caso de los inventarios, ocurre que “una cierta cantidad de stock es construida” con el fin de que los efectos adversos, debido a la aleatoriedad de la demanda, la incertidumbre en el precio y otros riesgos que generan costos excesivos, se equilibren.

Luciano y otros [14], también exploran la posibilidad de utilizar el valor en riesgo en el contexto de la gestión de inventarios, considerando el auge que gana cada vez más esta herramienta (VaR) dentro de la gestión financiera como una medida natural del riesgo asumido con una posición dada. Ellos en su artículo plantean como en el marco de la gestión de inventarios se puede aplicar así mismo. Una vez construido un modelo de decisión, donde la decisión corresponde al nivel de inventario que se tendrá para enfrentar una demanda aleatoria, con el fin de optimizar el resultado esperado, ya sea un mínimo costo o un máximo beneficio esperado; el modelo analiza la distribución de probabilidad resultante, ya sea a través de métodos analíticos o a través de métodos de simulación.

Los modelos tradicionales de inventario enfocan la atención en la toma de decisiones cuyo riesgo sea neutral, es decir definiendo políticas o estrategias de reabastecimiento cuya expectativa esté orientada a maximizar la ganancia total o en su defecto a minimizar los costos totales. Chen et all, [15].

Allí se plantean la importancia de incorporar el riesgo en la valoración de las estrategias orientadas a definir las políticas de administración de los inventarios, teniendo en cuenta la conceptualización existente en el área financiera, la cual le permite a una persona tomar decisiones más acertadas tendiendo en cuenta aspectos como las medidas del mercado financiero, de tal forma que se puedan equilibrar los riesgos operacionales en la administración del inventario.

Los resultados de aplicar estas teorías demuestran la importancia de las decisiones tomadas por los administradores, equilibrando el riesgo y basados en la información de la distribución de demanda con la cual se comporten los inventarios.

Estas teorías permiten confirmar que en la actualidad empresas como la del ejemplo de aplicación, en la cual no se tienen políticas claras para el reabastecimiento y la administración de inventarios, deben basarse en modelos como pueden ser el VAR (Valor en Riesgo) para evaluar y tomar decisiones frente a los inventarios.

Según el documento de Alonso [16], de la Universidad ICESI, Introducción al cálculo del valor en riesgo VaR aplicado a los activos, éste corresponde al peor escenario posible dadas unas condiciones de mercado, en un horizonte de tiempo y con un nivel de confianza determinado; si aplicamos este concepto a la administración de los inventarios, consiste en evaluar el escenario en el cual, con base en las condiciones de la demanda, en un periodo de tiempo establecido y con un nivel de confianza estimado, se puede cuantificar la pérdida esperada de definir determinadas políticas de administración de inventarios.

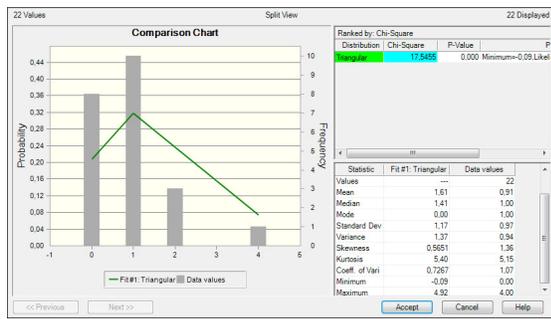
### III. METODOLOGÍA

Este modelo se plantea con el propósito de determinar una política adecuada de inventario, bajo la perspectiva financiera, en aras de establecer aquella cuyo costo sea mínimo, pero garantizando un nivel de riesgo aceptable desde el punto de vista de la empresa. En primera instancia se determinaron los elementos que serían objeto de estudio, tomando una muestra representativa, cuyo primer criterio de priorización fue el valor del inventario y debido a la escasez de datos históricos se utilizó como segundo criterio la rotación del inventario, con el fin de poder determinar patrones de comportamiento de la demanda.

#### A. Determinación del comportamiento de la demanda.

Con ayuda del paquete aplicativo de simulación Crystal Ball®, se determina el ajuste de distribución del comportamiento de la variable demanda de cada uno de los ítems elegidos, de acuerdo con los datos históricos de consumo en un período comprendido por 22 meses, mediante la opción Fitting, que utiliza para ello ya sea el test Kolmogorov-Smirnov, el test Anderson-Darling o el test de Chi cuadrado, que es el más común y el seleccionado para usarse en este caso. El test de Chi cuadrado rompe la distribución en áreas de igual probabilidad y compara los puntos de datos dentro de cada área con el número de puntos de datos esperado. Este test no usa el valor p de la manera en que lo hacen otros test estadísticos; un valor p mayor que 0,5 indicará un mejor ajuste.

A manera de ejemplo en la figura 2 se muestra el resultado de ajuste del comportamiento de la demanda para uno de los elementos seleccionados, definiendo los parámetros que permiten modelarlo, para un periodo de un año, con base en los 22 datos de información histórica que se tiene disponible del ítem y de esta manera realizar la comparación del costo de la política actual de inventario frente al costo de otras políticas definidas a partir de indicadores financieros, propósito de este estudio.



**Figura 2** Resultado del ajuste de distribución del comportamiento de un ítem a partir del historial de consumo en Crystal Ball ®

En este caso, la distribución de comportamiento de la demanda de los ítems se modela de acuerdo con la distribución triangular, cuyos parámetros requeridos son el nivel mínimo, el más probable y el máximo, tomados a partir de este historial de consumo, como el mínimo consumido, la moda de consumo y el máximo consumido respectivamente.

**B. Identificación de los costos asociados al inventario.**

Se establecen los costos de inventario teniendo en cuenta que se clasifican en tres categorías, costos por faltantes, costos de mantenimiento y costos de adquisición. Estos últimos representan desde el punto de vista financiero el requerimiento de capital de trabajo para inventario y se tratan en detalle más adelante.

En relación con la categoría de costos por faltantes de inventario para el grupo de artículos seleccionado, el cual fue repuestos de fábrica, elegido para el estudio dado que en algunas oportunidades resultan críticos porque ocasionan una parada de la fábrica, lo cual implica un alto costo para la empresa, calculado tal como lo expresa la ecuación 1, donde la variable de criticidad del ítem  $P_i$  toma el valor de 1 en aquellos casos cuando el faltante genera parada y toma el valor de 0 para los demás ítems, es decir, aquellos para los que este faltante no implica una parada de la fábrica. Por esta razón es necesaria la clasificación de criticidad de cada artículo teniendo en cuenta si genera o no tal situación.

Al presentarse la necesidad de un ítem de inventario con el parámetro  $P_i=1$ , y no tenerlo disponible, como se planteó anteriormente, la parada de la planta de producción, representaría un costo estimado CP (Costo de parada) de \$16 millones de pesos por hora, establecido para el caso, según las condiciones propias de la empresa, dado que el producto terminado se tiene vendido generalmente con antelación y se calcula con base en las utilidades dejadas de recibir. Este costo de parada estará afectado por el tiempo de reposición o lead time del artículo, el cual en este caso se trabaja con el supuesto de un lead time fijo; este costo se denota mediante la siguiente ecuación:

$$CF_i = LT_i * CP * P_i \quad (1)$$

Donde:

$CF_i$  : Costo por faltante del ítem  $i$

$LT_i$  : Tiempo de reposición del ítem  $i$

$CP$  : Costo de parada ( $CP=\$16'000.000,00$ )

$P_i$  : Representa la criticidad del ítem  $i$  (Valores de 1 o 0)

Por el contrario, tenerlo disponible, representaría los costos de inventarios relacionados a continuación, correspondientes a costos de mantenimiento y costos de adquisición. Los costos de mantenimiento se calculan como la suma de costos de almacenamiento y costos de operación, denotados así:

$$CM_i = CALm_i + COP_i \quad (2)$$

Donde:

$CM_i$  : Costos de mantener en inventario el ítem  $i$

$CALm_i$  : Costos de almacenamiento del ítem  $i$

$COP_i$  : Costos de operación del ítem  $i$

Los costos de adquisición que representan adicionalmente el requerimiento de capital de trabajo, se calculan como el valor del artículo, el cual incluye los precios y los costos de transporte hasta la planta, multiplicado por el número de artículos en stock, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$K_i = Vu_i * N \quad (3)$$

Donde:

$K_i$  : Requerimiento de inversión en capital de trabajo del ítem  $i$

$Vu_i$  : Valor unitario de compra del ítem  $i$

$N$  : Número de artículos comprados del ítem  $i$

Los costos de almacenamiento y operación están representados en proporción al valor del inventario y para el año 2007 corresponden a 1.91% y 17.54% respectivamente. Por consiguiente se puede decir, que los costos de almacenamiento y operación están directamente relacionados con los costos de adquisición del inventario. Los costos mensuales de almacenamiento corresponden al 0,16% y los costos de operación al 1,46% del costo de adquisición.

Para el caso del cálculo del costo de capital, igualmente se puede definir como una tasa relacionada con el costo de adquisición, dada la naturaleza de este costo. La empresa tiene definida una tasa de oportunidad del 13% efectivo anual, con la cual evalúa sus proyectos de inversión. Por lo tanto, el costo de capital mensual podría expresarse como el 1,024% del costo de adquisición de los ítems almacenados.

Luego, reemplazando en la ecuación (2) se tiene que:

$$CM_i = 0,16\% * K_i + 1,46\% * K_i$$

$$CM_i = 1,62\% * K_i \quad (4)$$

Finalmente el costo total en un periodo determinado, según la política de inventario adoptada, que para efectos del caso de estudio se analiza mes a mes durante un año, corresponde al costo por mantener el inventario más el costo generado por faltantes del mismo más la variación del capital de trabajo y se puede expresar según la ecuación 5. El costo total de tener inventario en el período  $t$  será la sumatoria de los costos totales de cada ítem  $i$  en ese periodo:

$$CT_i = CM_i + CF_i + \Delta K_i \quad (5)$$

$$CTI_t = \sum_{i=1}^n CT_i \quad (6)$$

Luego, se puede decir que el costo total del inventario CTI, corresponde a la sumatoria de los costos totales de mantener en inventario cada uno de los ítems, y en términos generales se define el indicador financiero de costo presente equivalente CPE descontado a la tasa  $i^*$ , que es la tasa mínima de retorno esperada para una inversión, para establecer el costo presente de la política (ecuación 7). Este indicador se modela haciendo uso de la herramienta de simulación y se optimiza para definir una política de menor costo. Adicionalmente se calcula el VaR de esta nueva política para determinar el riesgo presente en la inversión.

$$CPE_{i^*} = \sum_{t=1}^n VP CTI_t \quad (7)$$

### C. Formulación del modelo

El propósito de este modelo es evaluar el costo presente equivalente generado por la decisión de tener cierto nivel de inventario en un ítem dado, y así poder evaluar el valor en riesgo de la inversión en capital de trabajo. Adicionalmente, se pretende medir, a través del uso de los indicadores financieros, el impacto financiero que representan las reducciones en los niveles de inventario por la adopción de nuevas políticas.

Una vez modelada la demanda del ítem  $i$  de acuerdo con la distribución ajustada según su comportamiento histórico, periodo a periodo se calculan las necesidades de requerimiento de capital de trabajo, representadas en el costo de adquisición y calculadas según la ecuación 3, partiendo del nivel máximo de inventario de la política actual en el mes 0; luego se calculan los costos de mantener inventario, usando la ecuación 4, considerando el nivel medio de inventario; posteriormente, si la demanda del ítem no es cubierta por el nivel de stock, se calcula el costo de faltante según lo plantea la ecuación 1 y finalmente se

calcula el costo total de inventario para cada uno de los  $n$  periodos (ecuación 5).

El costo de la política definida entre un nivel mínimo y un nivel máximo de inventario, para un ítem dado, se calcula entonces mediante la ecuación 7, para determinar el costo presente en pesos de mantener esos niveles por los  $n$  periodos calculados.

### Índices

- $i$  : índice para los ítems de inventario  
 $t$  : índice para los períodos de tiempo

### Parámetros

- $n$  : Número periodos a evaluar  
 $m$  : Número total de ítems del inventario  
 $i^*$  : tasa de descuento  
 $Max_i$  : Nivel máximo de la política de inventario del ítem  $i$   
 $Min_i$  : Nivel mínimo de la política de inventario del ítem  $i$   
 $Vu_{it}$  : Valor unitario del ítem  $i$  en el tiempo  $t$   
 $LT_i$  : Lead time del ítem  $i$   
 $CP$  : Costo de parada  
 $P_i$  : Factor de criticidad del ítem  $i$

### Variables

- $RecPro_{i,t}$  : Recepciones programadas del ítem  $i$  en el tiempo  $t$   
 $Dem_{it}$  : Demanda del ítem  $i$  en el tiempo  $t$   
 $InvIni_{it}$  : Inventario inicial del ítem  $i$  en el tiempo  $t$   
 $InvFin_{it}$  : Inventario final del ítem  $i$  en el tiempo  $t$   
 $Orden_{it}$  : Cantidad a ordenar del ítem  $i$  en el tiempo  $t$   
 $K_{it}$  : Capital de trabajo invertido en el ítem  $i$  en el tiempo  $t$   
 $CAlm_{it}$  : Costo de almacenamiento del ítem  $i$  en el tiempo  $t$   
 $COP_{it}$  : Costo de operación del ítem  $i$  en el tiempo  $t$   
 $CF_{it}$  : Costo de faltantes del ítem  $i$  en el tiempo  $t$   
 $CTI$  : Costo total del inventario

La figura 3 muestra el diagrama de flujo del algoritmo que permite realizar el proceso de cálculo del indicador planteado -costo presente equivalente CPE- a una tasa de descuento  $i^*$  para un determinado nivel de inventario, de todos y cada uno de los ítems existentes, definidos bajo la política de máximos y mínimos, para  $n$  periodos de tiempo.

Haciendo uso de la simulación, se generan 5.000 escenarios de este indicador, para poder analizarlo estadísticamente según la distribución de probabilidad que se genere y finalmente calcular el indicador financiero de riesgo VaR, de la inversión en el capital de trabajo correspondiente a inventario.

Se evalúa además las oportunidades de mejora frente a las políticas actuales, haciendo uso de la misma herramienta de simulación Crystal Ball ® en su opción del optimizador (Optquest) incluyendo en el análisis el nivel mínimo y el nivel máximo como variables de decisión, de tipo discretas,

para llevar el indicador de costo a su mínimo posible y evaluar además el impacto financiero de adoptar estos niveles óptimos.

El Optquest, incorpora metaheurísticos para guiar su algoritmo de búsqueda hacia la mejor solución; este enfoque busca una forma de memoria adaptativa para recordar cuáles soluciones han trabajado bien antes y las recombina en nuevas soluciones mejores. El propósito es la determinación del nivel óptimo del mínimo y el máximo para cada ítem, considerándolos en la realización de la simulación, como variables de decisión, que oscilan en un rango para el mínimo entre 0 y el nivel mínimo actual y para el máximo entre el valor mínimo actual y el máximo actual.

fin, la hoja de cálculo de Microsoft Excel ® cuyos resultados se muestran más adelante.

A continuación se describe el resultado de la simulación del CPE para este ítem, realizado con un conjunto de 5.000 iteraciones, en el cual se considera la demanda como una variable aleatoria con distribución triangular con los parámetros mínimo=0, más probable=1 y máximo=4; el inventario inicial por su parte, muestra un registro equivalente al inventario final del periodo anterior. El inventario final para cada periodo corresponde al inventario inicial sumado a las órdenes recibidas y descontando la demanda durante el periodo.

Para el caso analizado, se considera un lead time  $LT=45$  días y se asume que las órdenes entran en el mes siguiente al de la realización del pedido. Si el nivel de inventario final es inferior al nivel mínimo definido por la política ( $Min=5$ ) se ordena una cantidad igual a la diferencia entre el nivel máximo ( $Max=10$ ) y el nivel de inventario final dentro del mismo período.

El requerimiento de capital de trabajo, se calcula según la ecuación 3 donde  $N$  representa el nivel de existencias del ítem en inventario final. Para el cálculo de los costos de mantener el inventario, se utilizan los parámetros establecidos como coeficientes de la ecuación 4; el costo de faltante se calcula según la ecuación 1 donde el costo de parada  $CP=\$16'000.000/h$ ; la variación de la inversión en capital de trabajo, es la diferencia entre el requerimiento de capital de un período respecto al anterior; el costo total de inventario se calcula según la ecuación 5 y el costo presente equivalente descontado a la tasa  $i^*=1,0245\%$  mensual se obtiene aplicando la ecuación 7.

Realizando una nueva simulación e incluyendo en este caso para la validación del modelo propuesto, un grupo de 7 ítems seleccionados como objeto de estudio, con los parámetros descritos anteriormente para el ítem 10524 que aplican de manera general, se tiene nuevamente que se presenta una cobertura de la demanda en un 100% y que no se generan faltantes al menos en los ítems que tienen el parámetro  $P=1$ , que resultan críticos en el resultado del costo presente equivalente. De igual manera se optimiza el costo presente equivalente y los resultados se consolidan en la tabla 2, con los valores de mínimos y máximos en cada caso.

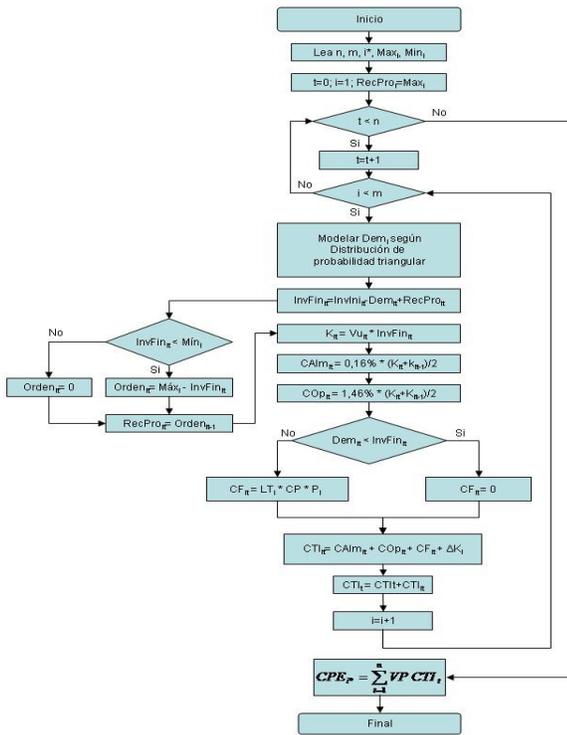


Figura 3 Diagrama de flujo del modelo de cálculo del indicador CPE

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realiza la validación del modelo propuesto, con el ítem código 10524, el cual presenta una política de inventario de mínimo 5 unidades y máximo 10, un valor unitario de \$2'176.726 y un lead time de 360 horas; se utiliza para tal

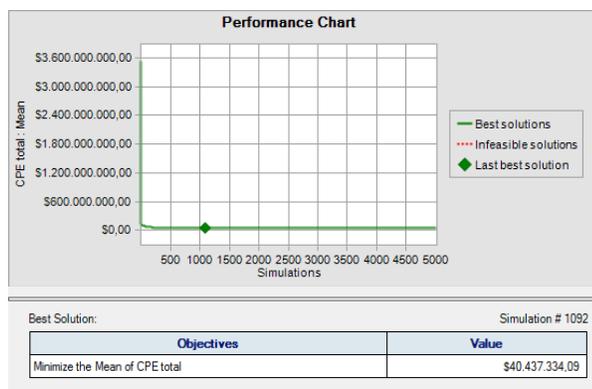
	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
Demanda modelada del ítem		2	1	3	2	0	0	0	2	0	1	1	1
Inventario Inicial	0	10	8	7	4	8	8	8	8	6	6	5	9
Inventario Final	10	8	7	4	8	8	8	8	6	6	5	9	8
Recepción de Órdenes	10	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	5	0
Órdenes generadas	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	5	0	0
Requerimiento de Capital de trabajo	21.767	17.414	15.237	8.707	17.414	17.414	17.414	17.414	13.060	13.060	10.884	19.591	17.414
Costo de Almacenamiento		28	24	14	28	28	28	28	21	21	17	31	28
Costo de Operación		254	222	127	254	254	254	254	191	191	159	286	254
Variación de la Inversión en Capital de trabajo	21.767	-4.353	-2.177	-6.530	8.707	0	0	0	-4.353	0	-2.177	8.707	-2.177
Costo de faltantes		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>COSTO TOTAL DE INVENTARIO</b>	<b>21.767</b>	<b>-4.071</b>	<b>-1.930</b>	<b>-6.389</b>	<b>8.989</b>	<b>282</b>	<b>282</b>	<b>282</b>	<b>-4.142</b>	<b>212</b>	<b>-2.000</b>	<b>9.024</b>	<b>-1.895</b>

<b>Costo Presente Equivalente de la Inversión en Inventario</b>	
<b>CPE</b> 1,024%	<b>20.035,29</b>

**Tabla 1** Modelación de un escenario del costo presente equivalente (en \$miles) del ítem 10524

En este caso el resultado obtenido al optimizar el valor medio del costo presente equivalente, se encuentra alrededor de los \$40 millones de pesos, con un máximo cercano a los \$62 millones de pesos.



**Figura 5** Resultado del Crystal Ball ® de las mejores soluciones para la optimización del CPE considerando los 7 ítems seleccionados

Al realizar una valoración del inventario en su nivel máximo y en su nivel óptimo, como se muestra en la tabla 3, se puede observar que el valor del nivel óptimo se encuentra un 55.15% por debajo del actual. Este menor valor del inventario impacta directamente los indicadores financieros de la organización de la siguiente manera.

<b>COSTO POLÍTICA ACTUAL</b>					
CL	GR	ARTI	CPE 1,024%	MIN	MAX
10	5	24	20.025.486	5	10
10	10	21	12.172.286	4	8
10	5	1	16.656.701	5	15
10	5	51	2.743.495	2	2
10	5	22	37.888.005	16	40
10	5	13	19.921.099	10	20
10	0	5577	8.123.520	5	15
<b>CPE TOTAL</b>			<b>117.530.591</b>		
<b>COSTO POLÍTICA OPTIMIZADA</b>					
CL	GR	ARTI	CPE 1,024%	MIN	MAX
10	5	24	10.958.946	5	6
10	10	21	3.951.168	0	4
10	5	1	4.980.708	0	5
10	5	51	1.548.493	0	1
10	5	22	3.830.900	0	16
10	5	13	5.393.902	5	10
10	0	5577	3.684.856	5	6
<b>CPE TOTAL</b>			<b>34.348.974</b>		

**Tabla 2** Resultado del nivel óptimo de inventario obtenido por el OptQuest de Crystal Ball para los ítems seleccionados para la evaluación

Al calcular el indicador de rotación de inventarios para los ítems seleccionados, se encuentra que para el año 2006, se obtiene un resultado de 1,9 veces y para el año 2007 de 2,38 veces. Esta mejora del indicador de rotación como ya se ha planteado anteriormente se debe a los esfuerzos de la empresa durante este periodo por reducir sus niveles de inventario. Sin embargo, si se mantuviera un inventario promedio en el nivel óptimo calculado para estos ítems, entonces el nuevo cálculo del indicador muestra un aumento aproximado de un 60,27% en relación con la política actual.

ÍTEM	NIVEL MÁXIMO	Vr. Unit.	Vr. Total
10524	10	2.176.726	21.767.260
101021	8	1.732.692	13.861.536
1051	15	1.503.598	22.553.970
10551	2	1.310.000	2.620.000
10522	40	1.151.989	46.079.560
10513	20	1.109.969	22.199.380
1005577	15	629.266	9.438.990
<b>TOTAL</b>			<b>138.520.696</b>

ÍTEM	NIVEL ÓPTIMO	Vr. Unit.	Vr. Total
10524	6	2.176.726	13.060.356
101021	4	1.732.692	6.930.768
1051	5	1.503.598	7.517.990
10551	1	1.310.000	1.310.000
10522	16	1.151.989	18.431.824
10513	10	1.109.969	11.099.690
1005577	6	629.266	3.775.596
<b>TOTAL</b>			<b>62.126.224</b>

**Tabla 3** Valoración de los ítems seleccionados en su nivel máximo

	Año 2006	Año 2007
Costo promedio material consumido	189.264.213	237.267.762
costo promedio de inventario actual	99.575.464	99.575.464
Rotación de inventario	1,9	2,38
costo promedio de inventario	62.126.224	62.126.224
Rotación de inventario	3,05	3,82

**Tabla 4** Rotación de inventario del grupo objeto de estudio

Analizando esta reducción de la inversión en capital de trabajo por concepto de inventario, se encuentra que el valor presente equivalente de dicha reducción, que además tiene un efecto de manera permanente, es decir que el ahorro se puede considerar como un flujo a perpetuidad, y teniendo en cuenta que el costo de oportunidad con el cual se evalúan los proyectos en la empresa, es del 13% anual, da como resultado el valor expresado en la tabla 5, donde se aplica la siguiente ecuación:

$$VP = \frac{CPE_{i^*política actual} - CPE_{i^*política optimizada}}{i^*} \quad (8)$$

Concepto	Valor Presente
Inversión en capital de trabajo bajo la política actual	117.530.591
Inversión en capital de trabajo bajo la política optimizada	34.348.974
<b>Reducción de la inversión</b>	<b>83.181.617</b>
<b>Reducción de la inversión a Perpetuidad</b>	<b>639.858.595</b>

**Tabla 5** Valor presente de la perpetuidad del flujo generado por la reducción de inventario ante la adopción de nuevas políticas

### V. CONCLUSIONES

Es necesario tener en cuenta que este valor presente del ahorro por reducir el inventario de su nivel máximo al nivel óptimo obtenido en el estudio, es únicamente para los siete ítems elegidos, es decir, que al extenderse el análisis en todos los demás ítems, el ahorro en costo total por adoptar una herramienta como ésta, para la definición

de políticas de inventario bajo máximos y mínimos, sería considerablemente mayor y beneficioso para la empresa, dejando además de ser políticas definidas por decisiones meramente empíricas, para tener un soporte de cuantificación del riesgo asociado a la generación de faltantes de existencias, que es el factor de mayor impacto en el costo total de inventario en este tipo de ítems, y un soporte para la determinación del nivel óptimo mediante las técnicas de la simulación.

Estas reducciones adicionalmente, impactan directamente el valor de la empresa dado que, al disminuir la inversión en capital de trabajo, se aumenta el flujo de caja libre, que es uno de los elementos utilizados en el cálculo de este tipo de indicadores y aunque en este estudio no se logra determinar el impacto total de la adopción de nuevas políticas de inventario en la valoración del negocio, podría afirmarse que será positivo y se aumentará el valor del indicador, dada su relación matemática.

### REFERENCIAS

[1] A. M. Dos Santos, I. Araujo Rodríguez. *Controle de estoque de materiais com diferentes padroes de demanda: estudo de caso em uma industria química*. Gestão & Produção, v.13, n.2, p.223-231, mai.-ago. 2006.

[2] Y. W. Zhou and S.L. Yang. *A two-warehouse inventory model for items with stock-level-dependent demand rate*. International Journal of Production Economics 95 (2005) 215–228.

[3] J. Ray and K.S. Chaudhuri. *An EOQ model with stock-dependent demand, shortage, inflation and time discounting*. International Journal of Production Economics. 53 (1997) 171–180.

[4] E.V. Bulinskaya, *Inventory control and investment policy*. International Journal of Production Economics. 81-82 (2003) 309-316.

[5] E. Luciano and L. Peccati. *Capital structure and inventory management: The temporary sale price problem*. International Journal of Production Economics. 59 (1999) 169-178.

[6] J. M. Marino Rodríguez, S. Frías, G. L. Souquet, y R. L. Marino Rodríguez. *Administración de Riesgos Financieros: Un requisito necesario en la actualidad para ser competitivo*. Instituto de Análisis e Investigaciones In Vivo S.C. Facultad de Ingeniería, Universidad Metropolitana. Chile 2002.

[7] W. Jammerneegg and P. Kischka. *Risk Preferences and robust inventory decisions*. International Journal of

Production Economics (2008), doi:10.1016/j.ijpe.2008.08.023.

[8] G. Szegö. *Measures of risk. European Journal of Operational Research* (2005), doi: 10.1016/j.ejor.2003.12.016.

[9] J. M. Feria Domínguez y M. D. Oliver Alfonso A. *Valor en riesgo (VeR): concepto, parámetros y utilidad.* Universia Business Review –Actualidad Económica. Segundo trimestre 2006.

[10] C. Blanco y M. Garman. *Nuevos avances en la teoría de valor en riesgo: Conceptos de VeRdelta y VeRbeta.* Financial Engineering Associates. 1997.

[11] J. García Villalón, y J. Martínez Barbeito. *Enfoques diferentes para medir el valor en riesgo y su comparación: Aplicaciones.* XIII jornada de ASEPUMA. 2005.

[12] D. F. Manotas Duque y H. H. Toro Díaz. *Análisis de decisiones de inversión utilizando el criterio Valor Presente Neto en Riesgo (VPN en riesgo).* Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. V 49 (2009) 199-213.

[13] C. Tapiero. *Value at risk and inventory control. European Journal of operational research.* 163 (2005) 769-775.

[14] E. Luciano, L. Peccati and D. M. Cifarelli. *VaR as a risk measure for multiperiod static inventory models.* International Journal of Production Economics 81-82 (2003) 375-384.

[15] X. Chen, M. Sim, D. Simchi-levi and P. Sun. *Risk Aversion in Inventory Management. Operation Research.* 55(5), pp. 828-842. 2007. INFORMS.

[16] J. C. Alonso. *Introducción al Cálculo del Valor en Riesgo.* Apuntes de Economía No. 7. Universidad ICESI Departamento de Economía. Julio de 2005.