

# “Modelo de Inventario aplicado a la Industria Farmacéutica”

Iván Macías Olvera, Lorena Ruiz P., Msc. Jaime Lozada  
Instituto de Ciencias Matemáticas  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
[Ottovan@hotmail.com](mailto:Ottovan@hotmail.com), [omacias@espol.edu.ec](mailto:omacias@espol.edu.ec).

## Resumen

*El presente estudio tiene por objetivo determinar un óptimo nivel de inventario en la industria farmacéutica usando simulación matemáticas y optimización combinatorial, para realizar el mismo se utilizó información proporcionada por el departamento de planeación que fue el eje principal para la realización del proyecto, y finalmente obtuvimos una nueva política de inventario que debe aplicar la empresa, haciendo ciertos cambios comparados con lo que tenía actualmente.*

**Palabras Claves:** *Simulación matemáticas, modelos de inventario.*

## Abstract

*The objective of this study is to find the optimal inventory level in the pharmaceutical industry by using both math simulation and combinatorial optimization. Data used for this study were provided by the planning department. This department played an important role to execute this project. Finally, it was possible to define an inventory policy that the company should apply by making some changes to the current policy.*

**Keywords:** *math simulation, inventory models.*

# 1. Introducción

El diseño de un modelo óptimo de inventarios en la industria farmacéutica es un problema que ha sido tratado por más de 50 años. Es claro que la decisión que la empresa debe escoger entre todas las posibles soluciones no solamente debe ser guiada por la intuición o modelos tradicionales. Es necesario que la empresa tome la decisión usando métodos avanzados. En este resumen se resolverá un modelo de problema de inventario usando simulación matemática y optimización combinatorial.

## 2. Descripción del problema

Existen dos preguntas que deben hacerse los administradores al momento de tomar decisiones sobre inventarios:

- Cuándo pedir?
- Cuánto pedir?

Estas preguntas sirven para formar la política de manejos de inventarios que debe ser la mejor política o al menos una de las mejores. Es en este problema, que el presente trabajo concentrara su atención, es decir, en la selección de la política. En general, el problema consiste en encontrar las  $n$  cantidades de pedir y los  $m$  tiempos en que debe hacerse cada pedido respectivamente. Donde las  $n$  cantidades son los diferentes niveles de stock por productos y los  $m$  tiempos representa el intervalo en que debe hacerse el pedido.

## 3. Modelo del Problema

Para realizar el presente estudio de racionalización de inventario se ha desarrollado un modelo que nos permite tener variables de ingreso, hacer el proceso de simulación y optimización, y obtener resultados óptimos para elegir y comparar las distintas políticas que existen para manejar inventarios y escoger la que más convenga para nuestro proyecto.

Se desarrollo un modelo no lineal, en el cual se logra cristalizar todas las ideas teóricas y se las lleva al modelo de inventario usando herramientas de Excel y @risk para simular un inventario basado en datos históricos, a continuación se describen las variables de entrada en la figura 1.

LOGÍSTICA E INVENTARIO																
Mensual	Inventario inicial	Cantidad que llega	Inventario total	Inventario inicio de MES	Pedidos	Venta efectiva	Venta Perdida	Unidades vendidas	Inventario final	Se hace pedido?	¿Cuánto pedir?	Costo de un. Dañadas	Costo de pedido	Costo de almacenamiento	Costo Total	Utilidad Bruta
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																

VENTA EFECTIVA  
Disponibilidad

UB UTILIDAD BRUTA

Figura 1. Modelo del Problema

Vamos a explicar las variables a determinar, las mismas que nos darán soluciones óptimas para la aplicación de la política de compra que es nuestro objetivo.

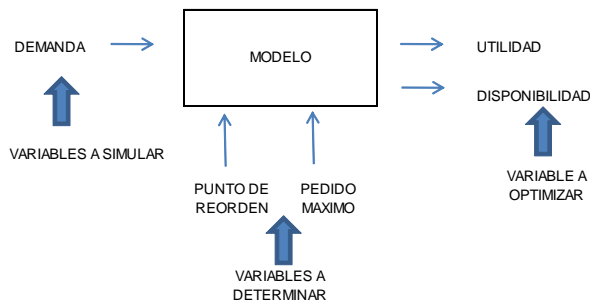
Variables a determinar: Punto de Reorden, es el valor que genera nuestro sistema después de haber realizado el proceso de simulación y optimización correspondiente, el mismo que nos sirve como un indicador de cuando debe realizarse el pedido para no tener escasez ni sobre stock.

Cantidad a pedir, son las unidades que debe pedir la empresa para maximizar utilidades basado en las políticas propias de ella.

Política de pedido, se refiere cuando y cuanto debe pedirse para que la empresa logre maximizar sus ganancias, la misma que se forma con el punto de reorden y la cantidad que debe pedirse.

Variables a optimizar: Utilidad Bruta, y la disponibilidad

Variable a simular: la demanda es la cantidad de productos que los consumidores están dispuestos a adquirir para satisfacer sus necesidades.



**Figura 2.** Modelo de Simulación

## 4. Teoría de inventarios

En una industria farmacéutica tener inventario almacenado sin dar funcionamiento continuo, causa costosas interrupciones, siendo demasiado el capital ocioso para la empresa.

### 4.1. Modelo general de inventario

Los problemas de inventarios consisten en colocar y recibir en forma repetida pedidos de determinados tamaños a intervalos de tiempos establecidos. El objetivo final de cualquier modelo de inventarios es el de dar respuesta a dos preguntas:

- ¿Qué cantidad de artículos deben pedirse?
- ¿Cuándo pedir?

La primera pregunta representa la cantidad óptima que debe ordenarse cada vez que se haga un pedido y puede variar con el tiempo, dependiendo de la situación que se considere.

La segunda pregunta depende del tipo de sistema de inventarios.

El sistema requiere revisión periódica, que no es otra cosa que la recepción de un nuevo pedido de la cantidad especificada por la cantidad del pedido en intervalos de tiempo iguales, por ejemplo pedir cada semana o cada mes.

La cantidad y el punto de un nuevo pedido suelen determinarse normalmente, minimizando el costo de inventario total que se puede expresar como una función de estas dos variables. Podemos resumir el costo total de un modelo de inventarios general como función de sus componentes principales en la forma siguiente:

$$(\text{Costo total del inventario}) = (\text{costo de compra}) + (\text{costo de preparación}) + (\text{costo de almacenamiento}) + (\text{costo faltante})$$

*El Costo de compra* se basa en el precio por unidad del artículo. Puede ser constante, o puede ofrecerse con descuentos.

*El Costo de preparación* representa el gasto fijo en que se incurre cuando se hace un pedido. Es independiente de la cantidad pedida. Para satisfacer la demanda en un periodo, el pedido de cantidades menores dará origen a un costo fijo mayor durante el mismo, a menos que se satisfaga la demanda haciendo pedidos mayores (y por lo tanto menos frecuentes).

*El Costo de almacenamiento* de productos en bodegas, normalmente aumenta con el nivel de inventario.

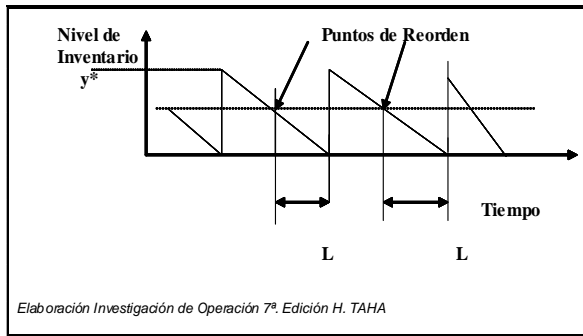
*El Costo de faltante* es una penalización en la que se incurre cuando se termina la existencia de un producto que se necesita. Incluye la pérdida potencial de ingresos y el costo, además de la pérdida de la buena imagen hacia el cliente.

Las nomenclaturas de los costos:

**Tabla 1.** Nomenclatura de los costos

Costo de preparación, correspondiente a la colocación de un pedido (\$/pedido)	$K$
Costo de almacenamiento (\$ por unidad en inventario por unidad de tiempo)	$h$
Costo de Faltante	$p$

Como se muestra en la figura 3 el punto de reorden se presenta cuando el nivel de inventario baja a  $LD$  unidades



**Figura 3.** Punto de reorden en el modelo EOQ

$D$  = Demanda (unidades por unidad de tiempo)  
 $y^*$  = Cantidad económica de pedido.  
 $L$  = Tiempo de entrega.

El nivel de inventario óptimo corresponde al costo total mínimo de las cuatro componentes. Sin embargo, un modelo de inventario no necesita incluir los cuatro tipos de costos, ya sea porque algunos de los costos son insignificantes, o porque harán que la función de costo total sea demasiado compleja para el análisis matemático.

Los modelos de inventarios abarcan dos clases de modelos deterministas: estáticos y dinámicos. Los modelos estáticos tienen una demanda constante en función del tiempo y en los modelos dinámicos, la demanda cambia en función del tiempo.

La demanda probabilística tiene dos clasificaciones: el caso estacionario, en el cual la función de densidad de probabilidad de la demanda se mantiene sin cambio con el tiempo; y el caso no estacionario, donde la función densidad de probabilidad varía con el tiempo.

## 5. Herramientas informáticas aplicadas en la solución del problema.

Se ha diseñado una aplicación específica usando Excel y @risk para el presente trabajo. Esta aplicación puede ser usada para cualquier modelo de inventario relacionado con la industria farmacéutica.

### 5.1 @risk

Es una herramienta informática de gran capacidad que actúa añadiendo sus posibilidades e iconos a la hoja EXCEL de Microsoft. Básicamente utiliza prestaciones estadísticas distribuciones de probabilidad, fórmulas de estadística descriptiva, muestreo y simulaciones de Monte Carlo.

@RISK utiliza la técnica de la simulación basándose en la hoja de cálculo para incluir y combinar todos aquellos factores de incertidumbre y riesgo que puedan afectar a la situación.

## 5.2. Características

@RISK se añade directamente a la hoja EXCEL, aprovecha y potencia todas sus características y posibilidades. Analiza, combina, ejecuta y muestra todos los resultados.

Las distribuciones pueden ser truncadas para incluir los parámetros o valores que se quieran utilizar y en muchas de ellas se pueden cambiar los percentiles para ajustarse mejor a los datos previos.

Los análisis de simulación se efectúan en base a las técnicas de muestreo de Monte Carlo y Latin Hypercube.

El programa admite cualquier número de iteraciones por cada simulación y cualquier número de simulaciones en cada análisis. Permite recálculos de cada hoja, señalar un número aleatorio como generador y ver los resultados y estadísticas en tiempo real mientras se van generando en la simulación.

Proporciona una amplia variedad de gráficos para interpretar y representar sus resultados.

## 6. Resultados e implementación

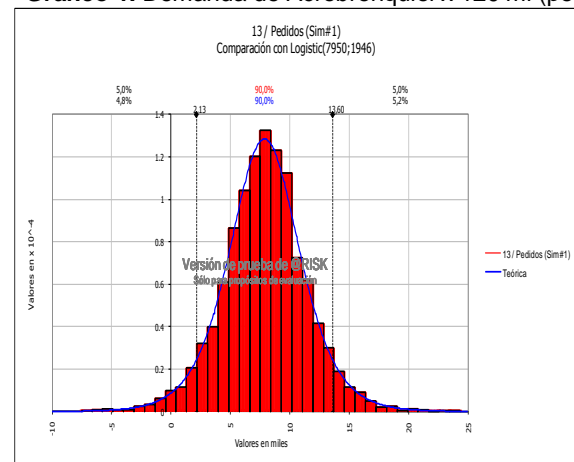
En esta sección se utilizará los resultados expuesto de la aplicación expuesto en la sección anterior.

### 6.1 Resultados encontrados con muestras tomadas en la industria con el producto acrobromquil x 120ml.

Después de realizar la debida prueba de bondad de ajuste se obtuvo la siguiente función de probabilidad, que para nuestro caso de estudio es la función de probabilidad Weibull, la misma que nos ayuda a simular la demanda mensual.

Una vez obtenida la función de probabilidad, procedemos a simular la demanda mensual que es requerida para nuestro modelo de simulación, a continuación el gráfico 1 presenta la simulación de las ventas.

**Gráfico 1.** Demanda de Acrobromquil x 120 ml (pet)



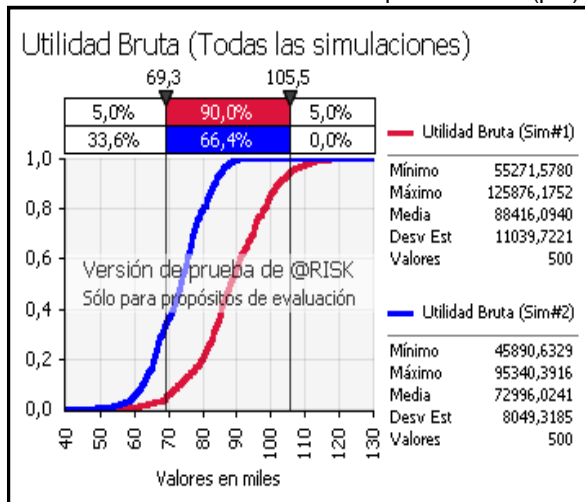
Realizada la debida simulación se procede con la optimización para obtener el conjunto de soluciones posibles para el modelo propuesto, el mismo que se detalla a continuación y como podemos observar en la tabla 2 todos los valores representan solución factible para nuestro modelo.

**Tabla 2.** Bitácora de pasos de progreso de Acrobronquiol 120 ml

RISKOptimizer: Bitácora de pasos de progreso									
Modelo: PROYECTO SIMULACIONacrobronquiol 120ml 29.xls									
Simulación	Tiempo transcurrido	Iteraciones	Resultado	Estadísticos de celda objetivo				Celdas ajustables	Restricciones duras
				Media	Desv.Est.	Min.	Máx.		
1	00:00:15	1500	87,508.6	87,508.6	11,547.0	47,579.1	122,408.7	12,001	Satisfecha
3	00:02:04	2400	88,099.4	88,099.4	11,449.8	33,541.8	121,933.9	11,173	Satisfecha
6	00:03:13	1800	88,607.2	88,607.2	10,881.6	51,009.1	121,964.5	9,990	Satisfecha
16	00:05:04	700	88,776.7	88,776.7	10,762.8	51,009.1	121,930.6	10,160	Satisfecha

Una vez encontrado los valores que satisfacen nuestro modelo, procedemos a probar nuestros resultados con valores que están fuera del conjunto solución y comparamos si el valor encontrado por nuestro modelo, nos determina la mejor política o existen valores que no están dentro del conjunto solución, pero nos pueden dar una mejor alternativa.

**Gráfico 2.** Utilidad bruta Acrobronquiol x 120 ml (pet)

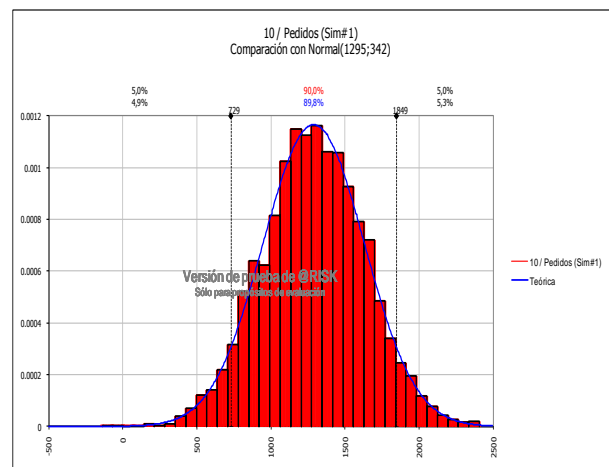


El gráfico 2 muestra dos políticas diferentes de pedidos de inventarios, la primera que es la Sim#1 la misma que utiliza como punto de reorden 10160 unidades y la cantidad a pedir de 14929 unidades, y la segunda que es la Sim#2 con un punto de reorden de 6080 unidades y la cantidad a pedir de 14929 unidades, entonces revisando el análisis podemos concluir que la política Sim#1 es la política que tiene mayor probabilidad de ganancia y por ende debe ser recomendada para que sea aplicada al inventario, es decir pedir, cuando el inventario llegue a 10160 unidades y la cantidad a pedir debe ser de 14929 unidades.

## 6.2 Resultados encontrados con muestras tomadas en la industria con el producto trimezol susp x 120ml.

Después de realizar la debida prueba de bondad de ajuste se obtuvo la siguiente función de probabilidad, que para nuestro caso de estudio es la función de probabilidad Normal, la misma que nos ayuda a simular la demanda mensual, Una vez obtenida la función de probabilidad, procedemos a simular la demanda mensual, que es requerida para nuestro modelo de simulación, a continuación el gráfico 3 presenta la simulación de las ventas.

**Gráfico 3.** Demanda de Trimezol Suspensión x 120ml



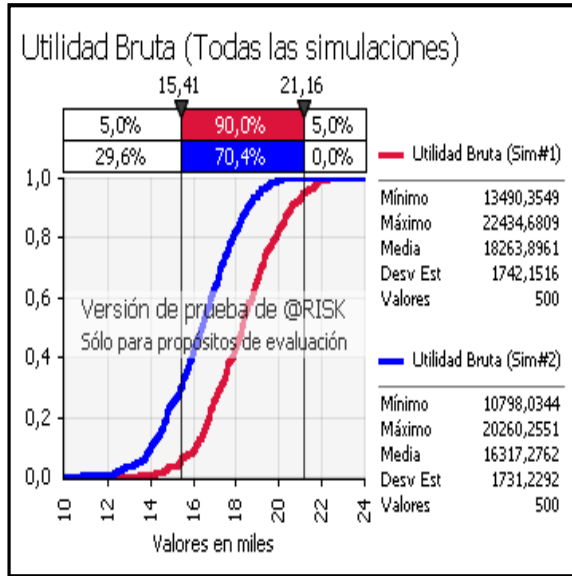
Realizada la debida simulación se procede con la optimización para obtener el conjunto de soluciones posibles para el modelo propuesto, el mismo que se detalla a continuación y cómo podemos observar en la tabla 3 todos los valores representan solución factible para nuestro modelo.

**Tabla 3.** Bitácora de pasos de progreso de Trimezol suspensión 120 ml

RISKOptimizer: Bitácora de pasos de progreso									
Modelo: PROYECTO SIMULACIONtrimezolsusp120 29.xls									
Simulación	Tiempo transcurrido	Iteraciones	Resultado	Estadísticos de celda objetivo				Celdas ajustables	Restricciones duras
				Media	Desv.Est.	Min.	Máx.		
1	00:00:11	900	18,246.7	18,246.7	1,782.7	12,562.3	23,709.8	1,296	Satisfecha

Una vez encontrado los valores que satisfacen nuestro modelo, procedemos a probar nuestros resultados con valores que están fuera del conjunto solución y comparamos si el valor encontrado por nuestro modelo, nos determina la mejor política o existen valores que no están dentro del conjunto solución, pero nos pueden dar una mejor alternativa.

**Gráfico 4.** Utilidad bruta Trimezol Suspensión x 120ml



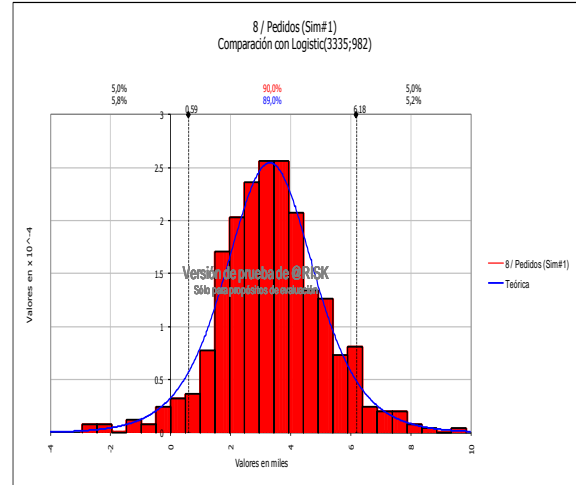
El gráfico 4 muestra dos políticas diferentes de pedidos de inventarios, la primera que es la Sim#1 la misma que utiliza como punto de reorden 1296 unidades y la cantidad a pedir de 8250 unidades, y la segunda que es la Sim#2 con un punto de reorden de 2500 unidades y la cantidad a pedir de 8250 unidades, entonces revisando el análisis podemos concluir que la política Sim#1 es la política que tiene mayor probabilidad de ganancia y por ende debe ser recomendada a que sea aplicada al inventario, es decir pedir, cuando el inventario llegue a 1296 unidades y la cantidad a pedir debe ser de 8250 unidades.

### 6.3 Resultados encontrados con muestras tomadas en la industria con el producto Broxolam x 120ml.

Después de realizar la debida prueba de bondad de ajuste, se obtuvo la siguiente función de probabilidad, que para nuestro caso de estudio es la función de probabilidad Logística, la misma que nos ayuda a simular la demanda mensual.

Una vez obtenida la función de probabilidad, procedemos a simular la demanda mensual, que es requerida para nuestro modelo de simulación, a continuación el gráfico 5 presenta la simulación de las ventas.

**Gráfico 5.** Demanda de Broxolam 120 ml



Realizada la debida simulación se procede con la optimización para obtener el conjunto de soluciones posibles para el modelo propuesto, el mismo que se detalla a continuación y cómo podemos observar en la tabla 4 todos los valores representan solución factible para nuestro modelo.

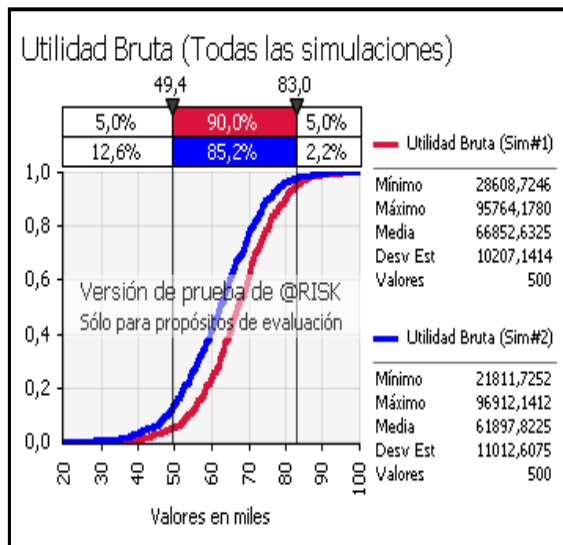
**Tabla 4.** Bitácora de pasos de progreso de Broxolam 120ml

RISKOptimizer: Bitácora de pasos de progreso								
Modelo: PROYECTO SIMULACIONbroxolam120ml 23.xls								
Simulación	Tiempo transcurrido	Iteraciones	Resultado	Estadísticos de celda objetivo			Celdas ajustables	Restricciones duras
				Media	Desv.Est.	Min. Máx.		
1	00:00:09	600	65,196.9	65,196.9	9,984.8	29,275.2 93,578.7	3,349	Satisfecha
9	00:01:57	1600	65,257.4	65,257.4	10,977.5	22,462.2 95,929.5	4,939	Satisfecha
18	00:04:03	2100	66,175.9	66,175.9	10,793.9	25,444.7 97,930.2	4,513	Satisfecha
22	00:05:36	2300	66,593.7	66,593.7	10,527.2	28,459.6 98,130.2	4,105	Satisfecha

Una vez encontrado los valores que satisfacen nuestro modelo, procedemos a probar nuestros resultados con valores que están fuera del conjunto solución y comparamos si el valor encontrado por nuestro modelo, nos determina la mejor política o existen valores que no están dentro del conjunto solución, pero nos pueden dar una mejor alternativa.



**Gráfico 6.** Utilidad bruta Broxolam 30 mg 60 ml



El gráfico 6 muestra dos políticas diferentes de pedidos de inventarios, la primera que es la Sim#1 la misma que utiliza como punto de reorden 4105 unidades y la cantidad a pedir de 12439 unidades, y la segunda que es la Sim#2 con un punto de reorden de 6200 unidades y la cantidad a pedir de 12439 unidades, entonces revisando el análisis podemos concluir que la política Sim#1 es la política que tiene mayor probabilidad de ganancia y por ende debe ser recomendada a que sea aplicada al inventario, es decir pedir, cuando el inventario llegue a 4105 unidades y la cantidad a pedir debe ser de 12439 unidades.

## 7. Conclusiones y recomendaciones

Para el estudio de políticas de inventario de la empresa farmacéutica ABC S.A. se analizaron los productos del área de líquidos con la finalidad de elegir la mejor o una de las mejores políticas mediante simulación matemática y optimización combinatorial, usando herramientas del software @risk.

En el producto Acrobronquiol de 120 ml se obtuvo como punto de reorden 10160 unidades y como cantidad a pedir 14929 unidades, es decir que cuando el stock marque 10160 unidades debe inmediatamente realizarse el pedido.

En el producto Trimezol susp de 120 ml se obtuvo como punto de reorden 1296 unidades y como cantidad a pedir 8250 unidades, es decir que cuando el stock marque 1296 unidades debe inmediatamente realizarse el pedido.

En el producto Broxolam de 120 ml se obtuvo como punto de reorden 4105 unidades y como cantidad a pedir 12439 unidades, es decir que cuando el stock marque 4105 unidades debe inmediatamente realizarse el pedido.

Los planificadores deben considerar que para el presente modelo necesitan revisión continua para controlar el stock de los productos, ya que este modelo de inventario no permite tener sobre stock ni tampoco escasez de productos.

## 8. Agradecimientos

Nuestros agradecimientos va dirigido a todas las personas que nos ayudaron llevar a cabo este proyecto, al Ing. Lozada por ser nuestro guía en el mismo, a las personas de la industria que nos facilitaron la información y a cuantos más que nos dieron la ayuda necesaria.

## 9. Referencias

[1] Taha, Hamdy A. (2004). Investigación de Operaciones. Mexico: Pearson.

[2] "Modelización y análisis avanzado de riesgo para Microsoft Excel". (n.d.).

<http://www.addlink.es/productos.asp?pid=301>, última visita: 16 de enero del 2010.