

**Rodríguez Bustamante, Ezer; Arango Quincho, Eduardo; Bayona Flores, Jorge  
Dr. Palza Vargas, Edgardo; Dr. Mamani Apaza, Guillermo; Mg. Acuña, Erika**

### **Resumen**

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un modelo analítico de abastecimiento de medicamentos basado en redes neuronales artificiales que optimiza el inventario de los medicamentos del sector privado de salud.

El tipo de investigación es aplicada, descriptiva y propositiva. La unidad de análisis fue el volumen de venta semanal de medicamentos de los años 2005 al 2009.

Los resultados afirman que el modelo de red neuronal artificial concurrente tiene mayor precisión en el pronóstico frente a los modelos estadísticos, series de tiempo y regresión lineal, lo cual permite planificar las compras de medicamentos y reducir el costo total.

## **I. INTRODUCCIÓN**

La adopción del proceso de planificación, integrada a la cadena de suministro por parte de las empresas, ha generado mejoras importantes en la reducción de costos y aumento de servicio. Un problema latente para la Clínica Ricardo Palma es no contar con un pronóstico adecuado de pedidos de medicamentos. Un error en el pronóstico de ventas o compras, podría poner en riesgo la salud del paciente, o generarle un inventario demasiado grande. Por ello la elección e implementación de un método adecuado de pronóstico es muy importante.

Optimización de Inventarios, consiste en evaluar y determinar las políticas de éstos en función de los objetivos perseguidos de minimizar costos y/o maximizar servicios.

La elección del método o métodos dependerá de los costos involucrados, del propósito del pronóstico, de la confiabilidad y consistencia de los datos históricos, del tiempo disponible para hacer el pronóstico, del tipo del medicamento, de las características del mercado, de la disponibilidad de la información necesaria y de la pericia de los encargados de hacer el pedido.

## **II. OBJETO DE ESTUDIO**

### **OPTIMIZACION DE INVENTARIOS PARA LA CLINICA RICARDO PALMA**

La presente investigación tiene como objeto de estudio analizar los niveles de stock de medicamentos de la clínica Ricardo Palma.

Uno de los problemas en la gestión de inventarios de la Clínica Ricardo Palma es no contar con un stock adecuado de medicamento; es decir, que no falte y no haya demasiado stock que genere un alto volumen de inversión.

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar el grado de optimización del stock de los medicamentos, basados a través de las Redes Neuronales Supervisadas y Algoritmos Genéticos.

## **III. Método**

### **3.1. Inventario.**

Los inventarios son recursos utilizables que se encuentran almacenados para su uso posterior en un momento determinado.

(Nápoles Peña, 2009)El Centro Internacional de Investigaciones Logísticas, la define como: “el área de la empresa dedicada a gestionar el posicionamiento de los materiales en tiempo y lugar con el principal objetivo de posibilitar transacciones entre vendedor y cliente, teniendo en cuenta el flujo de información asociado”.

### 3.2. características de un sistema de inventarios

- a. **Importancia de los inventarios.** Los problemas de inventario pueden contribuir a las quiebras de los negocios. Cuando una empresa solo falla en que quedarse sin inventario, los resultados no son agradables.
- b. **Funciones.** En cualquier organización, los inventarios añaden flexibilidad a la operación.
- c. **Decisiones sobre inventario.** Hay dos decisiones básicas de inventario, las mismas que se hacen para cada artículo del inventario.

¿Qué cantidad ordenar cuando el inventario del ítem se debe reabastecer?

¿Cuándo reabastecer el inventario de ese ítem?

### 3.3. modelos de gestión de inventarios.

Los modelos para la planificación del aprovisionamiento se agrupan en dos categorías principales; según la demanda sea dependiente o independiente respectivamente.

1. Modelos para Reaprovisionamiento no programado.
2. Modelos para Reaprovisionamiento programado.

#### 3.3.1. Control de inventario.

Este manejo contable permitirá a la empresa mantener el control oportunamente, así

como también conocer al final del período contable el estado confiable de la situación económica de la empresa.

#### 3.3.2. Lote económico.

Se trata de la célebre "Formula del modelo de Wilson" para la determinación del lote económico de compras (LEC) o, en inglés, Economic Order Quantity (EOQ).

La teoría del lote económico (EOQ) Establece la cantidad optima de artículos que debe adquirir la organización con el objetivo de minimizar los costes por tenencia de inventario y los costes generados por efectuar pedidos (Viveros, 2006).

El comportamiento de este modelo se aprecia fácilmente en la figura

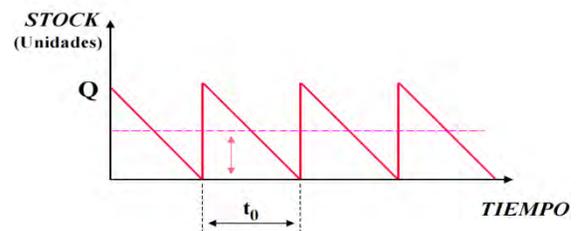


Figura 01: curva del modelo EOQ (Hamdy, 2004)

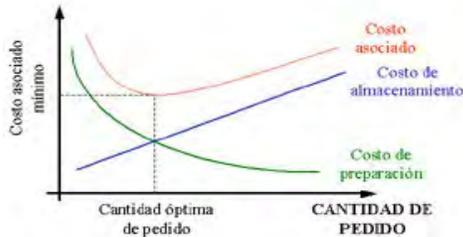
Para poder tomar una decisión sobre: la altura del triángulo (cantidad de pedido), el número de triángulos (números de pedidos en el periodo), la base del triángulo (tiempo entre pedidos) y conocer el valor asociado con estas decisiones es necesarios conocer los siguientes datos (Hamdy, 2004).

- a. Demanda, normalmente se trabaja anual.
- b. Costo de pedido.
- c. Costo de mantenimiento (almacenamiento).

La parte compleja del modelo es precisamente la definición de los costos anteriores, el objetivo del modelo no es minimizar uno de estos costos, ya que su comportamiento es inverso y en caso de minimizar uno solo de ellos, el otro se dispara por lo que los costos asociados serán más altos,

Lo importante es minimizar la suma de los costos de pedir y de mantener, lo que se conoce con el nombre de costo asociado, en la figura 02. Vemos el comportamiento de cada curva (Nápoles Peña, 2009).

Figura 02: curvas de costos del modelo EOQ



La simbología que se va a utilizar es la siguiente (Nápoles Peña, 2009):

D: Demanda

Co: Costo de pedido

Cc: Costo de Mantenimiento

Q.\*: Cantidad económica de pedido

N: Número de pedidos

Tc: Tiempo entre pedidos

CA: Costo asociado a la política de inventarios

CT: Costo total, involucra valor de los artículos y el costo asociado

Calculando las primeras tres variables los demás valores quedan automáticamente dados (Hamdy, 2004).

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 * D * C_o}{C_c}}$$

$$N = \sqrt{\frac{D * C_o}{2 * C_c}} = \frac{D}{Q}$$

$$T_c = \frac{1}{N} * \text{Numeros de días hábiles del periodo}$$

$$CT = D * C + \frac{D}{Q} * C_o + \frac{Q}{2} * C_c$$

## IV. Desarrollo

### 4. Herramienta

El método de optimización del sistema de inventario se hará a través del módulo de OptQuest de la herramienta Crystal Ball. OptQuest es un módulo de optimización, diseñado para sistemas de simulación de alta complejidad.

#### OptionQuest

OptQuest es un software comercial diseñado para optimizar sistemas complejos, los cuales son formulados como modelos de la simulación, es un software de optimización autosuficiente que puede interactuar con varios paquetes de simulación comerciales, tales como Arena, Crystal Ball y simul8; el software **OptQuest** fue desarrollado por Fred Glover, James P. Kelly, y Manuel Laguna. El algoritmo implícito en este software incorpora una combinación de estrategias basadas en Búsqueda Dispersa, Algoritmos Genéticos, Búsqueda Tabú y Redes Neuronales. La secuencia del algoritmo se puede observar en la figura 0.3.

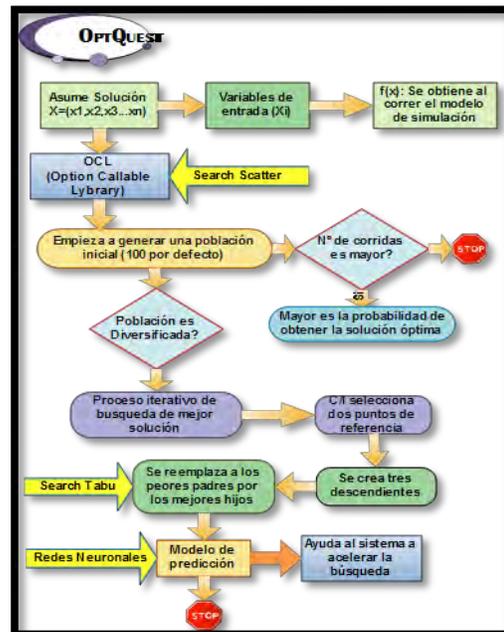


Figura 03: Proceso del software OptQuest

#### 4.1. Elaboración del modelo de simulación

##### 4.1.1. Selección de variables

El primer paso para construir el modelo consiste en la definición de tipos de variables que intervienen en el modelo. A continuación se listan las variables incluidas en el modelo.

- a. **Cantidad a pedir.** La cantidad de artículo a pedir por cada orden de pedido.
- b. **Punto de reorden.** Conocido como stock de seguridad, es un número que está muy dependiente de la variabilidad del consumo.
- c. **Inventario inicial.** Es el inventario físico al inicio de operaciones, en nuestro caso es a inicio del 2010.
- d. **Tiempo de entrega.** Es el tiempo que se demora el pedido en llegar desde el momento que se hace el pedido hasta la recepción del pedido.
- e. **Costos por orden.** Cuánto cuesta a la empresa colocar una Orden de Compras?, esto es el costo del área de Compras (Esto es Salarios del Gerente, Jefes, Analistas; uso de equipos, de teléfonos, Internet, viajes, cursos, etc.).
- f. **Costo de almacenamiento.** Se define como el costo de mantener una unidad o artículo durante un tiempo determinado. Los artículos que se almacenan en inventario, además están sujetos a pérdidas por robo, obsolescencia y deterioro.
- g. **Costo por venta perdida.** Cuando una empresa por cualquier circunstancia no puede cumplir un pedido, por lo general ocurren dos comportamientos, que dan lugar a dos tipos de costos:

1. **Costo de ruptura.** Está representado por la falta de un artículo durante un tiempo determinado. La característica

principal es que a pesar del incumplimiento, el cliente prefiere esperar.

2. **Costo faltante.** Está representado por la falta de un artículo durante un tiempo determinado. En este caso la demanda no es cautiva, se pierde la venta y se pierde el cliente.

- h. **Costo total anual.** es la variable objetivo que es minimizar el siguiente modelo de costo que se deben expresar en la cantidad económica de ¿Cuánto pedir? Y el tiempo entre los pedidos ¿Cuándo

$$CT = (\text{Costo pedido}) + (\text{costo de almacenamiento}) + (\text{costo de faltante})$$

pedir?:

- i. **Semana.** La unidad de tiempo está en semanas, para el caso de estudio tomaremos la 52 semanas del año.
- j. **Inventario virtual.** Es la cantidad de inventario del artículo físico más la cantidad en pedido.
- k. **Inventario actual o físico.** Está determinado por la cantidad de inventario actual después de la demanda.
- l. **Orden recibo.** Es una condicional donde es verdadero si se ha recibido la orden de pedido, en caso contrario es falso.
- m. **Unidad recibida.** Es la cantidad recibida de un artículo en un pedido.
- n. **Demanda.** Es ratio en función a las variaciones de las ventas de un periodo anterior para ver el comportamiento de la variable.

Siendo que Crystal Ball trabaja con variables de tipo Assumption (supuestos), Decisión (decisión) y Forecast (objetivo); conviene asignar las variables a los tipos de variables de Crystal Ball –ya se explicó anteriormente el significado de estos tipos

de variable. De este modo se tienen los siguientes grupos de variables:

- Assumption: Ventas del medicamento
- Decisión: Cantidad de orden, punto de reorden
- Forecast: Costo total, la función objetivo.

En la figura 04 se vemos el modelo de simulación para la optimización, las celdas con color amarillo (decisión), verde (Assumption) y turquesa (Forecast).



Figura 04: Modelo de optimización

#### 4.2. Construcción del modelo de simulación

Como todo proyecto, es necesario es necesario realizar un prototipo o escoger un conjunto de toda la población para realizar las pruebas necesarias, para el desarrollo del modelo de optimización de cristallball tomaremos el tiempo en semana; es decir, 52 semana por año. Por tal motivo la simulación va a considerar un total de 5 medicamentos para medir los resultados y el éxito del modelo.

##### 4.2.1. Medicamento VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS.

- Variables Assumption. Venta semanal, La demanda del medicamento semanal ha sido pronosticada con el método de Series de tiempo. Se tiene una data histórica desde el año 2006 **para estimar** la venta en las 52 semanas del 2010. El siguiente paso fue hallar el tipo de

distribución estadística que se ajuste al valor de la demanda pronosticada. En la figura 05 se muestra el proceso de elección del tipo de distribución de la demanda del medicamento: ventide inh 100/50 200 dosis.

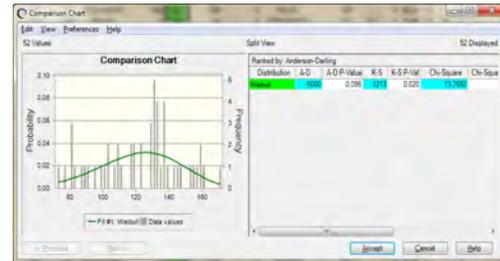


Figura 05: Distribución de la demanda

Es importante elegir la distribución que mejor se ajuste a los datos, de esto dependerá que los datos generados aleatoriamente sean válidos para el modelo. Seguidamente definiremos los valores de la demanda de cada semana como variables de tipo Assumption, elegiremos Weibull como el tipo de distribución y los parámetros pedidos. La figura 6 muestra este proceso.

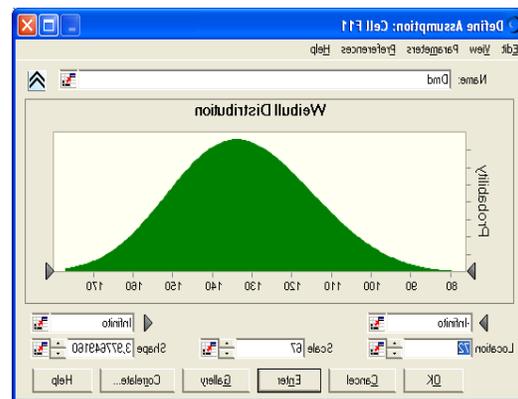


Figura 06: Definiendo la variable Assumption y el tipo de distribución

#### b. Variables Decisión.

- Cantidad de orden.** Esta es una de las dos variables de bastante incertidumbre en el manejo de inventarios. Si el lote pedido es pequeño, van a tenerse muchos órdenes de pedido, por consiguiente mayores gastos por pedir.

La situación contraria sería lotes grandes de pedido, esta situación también representa un alto costo de mantener el stock y otros que se señalaron anteriormente. Primero definiremos la cantidad mínima y máxima de pedido. Esta variable está ligada a políticas de calidad y niveles de servicio establecidos por la clínica. Como no están aun definidos, se analizó la data histórica de compras de este medicamento. Cabe señalar que la cantidad de pedido u orden va a ser referencial, pues es muy incierta conocer el valor óptimo, pero una vez hecha la simulación y optimización se va a tener el valor de la cantidad de orden ideal. En la figura 07 se define la variable Cantidad de orden del tipo Decisión.

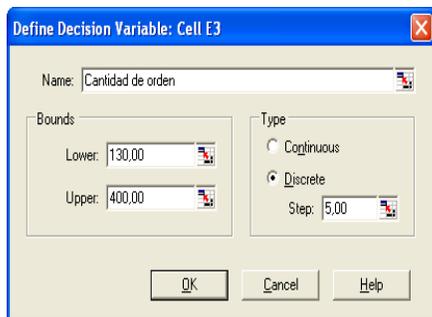


Figura 07: Establecimiento cantidad de orden

2. **Punto de reorden.** Esta es la otra variable de bastante incertidumbre en el manejo de inventarios. El punto de reorden también debe estar definido en las políticas de calidad de la empresa. Esta variable nos va a indicar el momento cuando es necesario realizar una orden de pedido para evitar un quiebre de stock, están vinculados los temas de cantidad de orden, stock de seguridad y el lead time, este último condiciona mucho esta variable.

El sistema también requiere el valor mínimo y máximo del punto de reorden. Puede darse el caso de presupuesto para la adquisición de más medicamento, el tema del espacio

disponible para tal medicamento u otras variables. Esta es la variable a estimar y optimizar junto a la cantidad de orden. En la figura 08 se define la variable punto de reorden como una variable del tipo decisión.

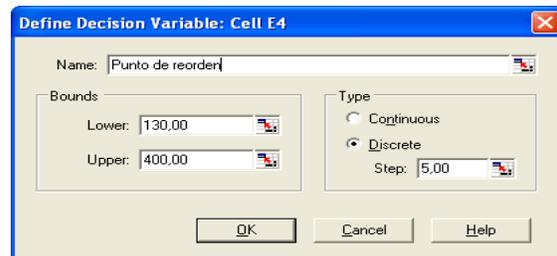
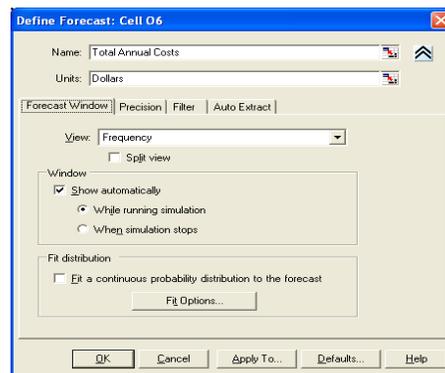


Figura 08: Estableciendo punto de reorden

c. **Variable Forecast.** Costo total anual: Esta es la variable objetivo del modelo construido. El propósito de todo el modelo es determinar los costos incurridos en las acciones propias del inventario como son: costos de tener, costo de venta perdida, costo por realizar el pedido. La sumatoria de estos costos nos va a proporcionar el costo total estimado en el periodo del 2010. En la figura 09 se muestra la definición de la variable Costo total anual como variable del tipo forecast y además es nuestra variable tipo objetivo.

Figura 09: Estableciendo la variable Objetivo



d. **Otras variables.**

3. **Costo de orden.** Esta variable está relacionada a la medición del costo generado por todas las actividades realizadas desde iniciado

el pedido, hasta que el producto es recibido en almacén. Por ejemplo, el costo de las llamadas telefónicas para verificar el estado del pedido, envío de correos, fax, personal, pagos a personal dedicado al pedido, entre otros. Es independiente del tamaño del lote de pedido, está asociado únicamente a los costos generados al realizar el pedido y no al precio. Para el medicamento VENTIDE INH 100/50 se ha estimado el costo de \$ 50.00. Este monto se suma al costo total cada vez que se realiza un nuevo pedido.

4. **Costo de tener:** Esta variable está relacionada a la medición del costo generado por mantener el medicamento en almacén. Se asocian a este costo los intereses por capitales invertidos, seguros por mantener las existencias, iluminación, equipos de refrigeración, equipos de manipulación.
5. **El costo de orden.** Es calculado entre el total de medicamentos productos existentes en el almacén, ponderando este valor, incluso por m<sup>2</sup> ocupado por tipo de medicamento. El costo por mantener cada unidad del medicamento VENTIDE INH 100/50 se calculó en \$ 0.20.
6. **Costo de venta perdida.** En muchos casos este valor no es tomado a la hora de hacer los cálculos de costos. Pero es importante incluirlo en nuestro sistema pues la pérdida de una venta va más allá de la simple pérdida de una oportunidad, detrás de ello hay un cliente insatisfecho, de esta manera afectar la imagen de la empresa. En este caso, el monto calculado corresponde a la ganancia que se hubiera obtenido de haberse concretado la venta, \$ 92.00 para el medicamento VENTIDE INH 100/50.
7. **Lead Time.** El lead time es el tiempo que transcurre desde que se inicia el pedido hasta el momento que el medicamento

está disponible al cliente. Para estimar el lead time, se tomó las 48 horas que demora el proveedor del medicamento mas 3 días para su ingreso y disponibilidad. Entonces calculamos que un pedido debe de recibirse la siguiente semana

## METODOLOGIA

La metodología de simulación cuatro pasos fundamentales; primero: Recolectar los datos pertinentes para poder realizar los cálculos correspondientes que luego serán introducidos en el software seleccionado. Segundo:

Con la información organizada se procede a realizar un análisis de la información para determinar la manera óptima de cómo abordar el problema. Tercero: Una vez seleccionada la forma de realizar el modelo, se procede a la elaboración como tal de la estructura de simulación. Cuarto: Se procede a realizar el respectivo análisis de los resultados obtenidos, con el fin de obtener información que nos permita soportar el proceso de toma de decisiones.

## V. ANÁLISIS DE RESULTADO.

### 5. Resultados de la simulación

El sistema busca reducir la incertidumbre a la hora de decidir la cantidad de medicamentos a pedir, estimando la demanda semanal del medicamento; como también en qué momento pedir en función a la demanda semanal del medicamento. Estas variables muy inciertas están ligadas al costo total del inventario, de manera que al optimizar estas variables vamos a reducir los costos totales.

#### 5.1. Estado inicial del modelo y simulación.

El estado inicial de la simulación ya muestra cierto grado de optimización con las variables. La demanda ya ha sido pronosticada y validada por las 52 semanas del año, de manera ya se cuenta con un valor estimado del costo total anual que

asciende a los \$ 4.100 Nuevos Soles como se muestra en la figura 10. La figura 11 muestra un grafico de la mejor solución que nos da como resultado de la simulación.



Figura 10: Estado antes de la Simulación

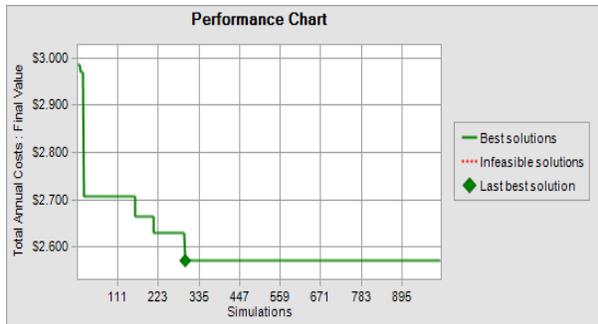


Figura 11: El gráfico muestra la mejor solución del modelo

La siguiente tabla 1 muestra la mejor solución hallada para nuestras variables, después de haber simulado con una iteración de 1000.

Tabla 1 : La mejor solución

Objectives		Best Solution:
	Minimizar el Valor Final del Costo Total Anual	\$2.572
Decision variables		Best Solution:
	Cantidad de Pedido	280,00
	Punto de reorden	135,00

### 5.2. Contraste de resultados.

Luego de haber realizado la simulación del modelo, se muestran los resultados iniciales y los optimizados como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 de soluciones del modelo

	Valor inicial	Valor optimizado
Costo total anual	4100	2575
Cantidad de pedido	200	280
Punto de reor-	150	135

### VI. CONCLUSIONES

- Las actividades de gestión de inventarios están condicionadas por ciertas variables que poseen un elevado grado de incertidumbre en cuanto a su valor o elegir un valor óptimo. Para determinar este valor es necesario un estudio exhaustivo, previendo su impacto en el valor del costo total.
- Un sistema de inventario como el planteado, considerando el pronóstico de la demanda y variables de incertidumbre como son la cantidad de orden, punto de reorden, calculando el costo total, nos da una gran ventaja a la hora de evaluar el impacto de nuestras políticas de inventario.
- El modelo planteado muestra una interfaz bastante intuitiva, donde podemos evaluar fácilmente el costo total final del medicamento al final de año. Conocer la demanda de cada semana y conocer la cantidad de pedido a realizar, de manera que se optimicen costos y tiempos.
- Los resultados mostrados dan evidencia que se logró conseguir un ahorro sustantivo en costos de inventario del medicamento, manipulando las variables de incertidumbre. Se logró reducir el costo total en un 37% respecto a su valor

inicial.

- e. El modelo planteado contribuye a controlar los costos, incluyendo los costos por venta perdida, que a menudo es ignorado, reduciendo de esta manera la pérdida de ventas por quiebre de stock, maximizando ingresos y previniendo un posible daño en la imagen de la institución por clientes insatisfechos.

## VII. RECOMENDACIONES

- a. La data histórica constituye un importante elemento al momento de plantearse un modelo de simulación y optimización. Por tanto es recomendable tener una data histórica de por lo menos 3 años de las compras y ventas del medicamento.
- b. Los datos de las ventas deben de ser analizados y posteriormente realizar un pronóstico para el periodo siguiente que se requiere simular. Esta data simulada debe de tener un nivel de confianza válido probado estadísticamente.
- c. En nuestra investigación nos ha faltado implementar un módulo que integre a la base de datos operacional de la clínica para facilitar la migración de datos rápidamente a nuestro modelo. Este módulo puede ser implementado en una futura investigación o ser continuada por un investigador interesado.
- d. El modelo de optimización se realizó con un grupo de cinco medicamentos, los cuales representan a los que tienen mayores costos y frecuencias de compra. Posteriormente se procederá a implementar gradualmente al universo de medicamentos.

## REFERENCIAS

Hamdy. (2004). Investigación de Operaciones. México: Pearso educación .

Laguna, M., Kelly, J. P., González-Velarde, J. L., y Glover, F., 1998, OptQuest for Crystal Ball Users Guide, Decisioneering Inc. Denver, CO and Optimization Technologies, Inc. Boulder, CO.

Romulo E. Voysest; Romulo E. Vreca. Cadena de abastecimiento 2009.

Ignacio Cruz Roche, J. J. (1996). Economía de la empresa: Análisis de las decisiones empresariales. Pirámide.

Laumaille, R. (2000). GESTION DE STOCKS.

mercheza. (19 de setiembre de 2009). GESTION DE INVENTARIOS. Recuperado el 01 de noviembre de 2010, de <http://mercheza.soy.es/2009/09/19/45/>

Nápoles Peña, O. (2009). Optimización de la gestión de inventarios en la sucursal CIMEX de Las Tunas. Recuperado el Octubre de 25 de 2010, de Osbervatorio de la economía latinoamericana: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/cu/2009/onp.htm>

Viveros, N. L. (2006). Gerencia de compras: La nueva estrategia competitiva. Recuperado el 10 de noviembre de 2010, también disponible en [http://books.google.com.pe/books?id=yhRwMgrBdXoC&printsec=frontcover&q=inauthor:%22Nohora+Ligia+Heredia+Viveros,+Adriana+Guti%C3%A9rrez+\(Coord.+Editorial\)+CEP+-+Banco+de+la+Rep%C3%ABblica+-+Biblioteca+Luis+%C3%81ngel+Arango,+Colecci%C3%B3n+textos+univers](http://books.google.com.pe/books?id=yhRwMgrBdXoC&printsec=frontcover&q=inauthor:%22Nohora+Ligia+Heredia+Viveros,+Adriana+Guti%C3%A9rrez+(Coord.+Editorial)+CEP+-+Banco+de+la+Rep%C3%ABblica+-+Biblioteca+Luis+%C3%81ngel+Arango,+Colecci%C3%B3n+textos+univers)

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al equipo de trabajo conformado por los alumnos Alarcón Ramos, Ronald; Tenorio Dávila, Janneth; Bances Cajusol, Misaël; Chávez Alva, David; Aliaga Mori, Paul; por mejorar el artículo