



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño de una política de gestión de inventario para el antibiótico
Ceftriaxona utilizado en el Hospital León Becerra"

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIEROS INDUSTRIALES

Presentado por:

Carlos Javier Castellón Cordovez
Sofía Loreto Retamales Garcia

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirnos llegar a esta etapa de nuestras vidas.

A nuestros padres y hermanos, por su incondicional amor, apoyo y sabios consejos

A todos los profesores que contribuyeron a nuestra instrucción académica, en especial al Ing. Jaime Macías y la Ing. Sofia López por su constante predisposición para guiarnos durante el desarrollo de este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"


Sofía Loreto Retamales Garcia


Carlos Javier Castellón Cordovez


Ing. Jaime Macías A. MSc
TUTOR DE MATERIA NTEGRADORA

RESUMEN

El Hospital León Becerra, ubicado en la ciudad de Guayaquil, Ecuador, es una entidad pública que actualmente no mantiene una forma estandarizada o sistemática del manejo de sus antibióticos. Como consecuencia de lo anterior, se identificó la irregularidad en sus pedidos, tanto en las cantidades ordenadas como el momento en que se ordena, y el exceso de inventario de Ceftriaxona. El trabajo a continuación describe la búsqueda de métodos para disminuir el nivel de inventario de dicho antibiótico sin alterar el nivel de servicio. Para ello, se empezó por la determinación de los costos asociados al manejo de inventario y un análisis del comportamiento de la demanda de Ceftriaxona. Luego se desarrolló un modelo apropiado para predecir valores futuros de dicha demanda, el modelo de pronóstico resultante fue una regresión lineal con factores causales igual a: $Y=0.74X_2+37.7X_6+37.7X_7$, donde X_2 : Consumo promedio ponderado, X_6 : Temporada y X_7 : Feriado. La política de inventario escogida, según las características de la demanda de Ceftriaxona, fue de tipo revisión continua y cantidad fija de pedido (Q) de 336 unidades con un punto de re orden (pro) de 486 unidades. Finalmente se pudo concluir, a través de una simulación, que el sistema propuesto de manejo de inventario implica una reducción del 28.2% del costo total actual, como resultado de disminuir costos como el de mantener inventario y de hacer un pedido, además genera una reducción del 35% del inventario promedio existente, sin embargo, es recomendable que tanto los factores del pronóstico como los parámetros de la política se actualicen anualmente.

Palabras Clave: Ceftriaxona, pronóstico, inventario, costos.

ABSTRACT

The León Becerra Hospital, located in the city of Guayaquil, Ecuador, is a public institution with no standardized inventory policies for any of the antibiotics it manages. Because of this there was the need to identify the main problem that resulted as an inconsistency in the orders and the high inventory level of ceftriaxone. In order to fix the problem, this work describes the search for ways to reduce inventory without altering the service level. First, the costs associated to inventory management were determined and the demand behavior was analyzed. Next was the development of an appropriate model to predict future values of demand. The resulting forecast model was a linear regression with causal factors equal to: $Y=0.74X_2+37.7X_6+37.7X_7$ where X_2 : Weighted Average Consumption, X_6 : Season time and X_7 : Holiday. According to the characteristics of the Ceftriaxona demand, and the inventory costs mentioned before, an appropriate inventory policy was established. The policy was set as a continuous review model with a fixed size order of 336 units and a reorder point quantity of 486 units. Finally, it was concluded, through simulation, that the proposed inventory management system signifies 28% less than the current costs and a reduction around 35% of the average inventory level, however, it is recommended that both, factors of the forecast and policy parameters be annually updated, because of the constant changes in the field of medicine.

Keywords: ceftriaxone, forecast, inventory, costs.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	ii
DECLARACIÓN EXPRESA	iii
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ABREVIATURAS	ix
SIMBOLOGÍA	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1 Objetivos	4
1.1.1 Objetivo general	4
1.1.2 Objetivos específicos	4
1.2 Marco teórico	4
1.2.1 Introducción a los inventarios	4
1.2.2 Clasificación ABC de dos niveles	7
1.2.3 Políticas de Inventario	9
1.2.4 Modelos de pronóstico	12
CAPÍTULO 2	15
2. METODOLOGÍA	15
2.1 Medición de la situación actual	15
2.2 Análisis de causas raíz	21
2.3 Estimación de costos de inventario	22
2.4 Diseño de mejoras	24
2.5 Control y Actualización	28
CAPÍTULO 3	29

3. ANÁLIS DE RESULTADOS	29
3.1 Modelo de predicción de ventas	29
3.2 Modelo de Inventario	37
3.3 Control y actualización	40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	43
APÉNDICE A	44
APÉNDICE B	48
APÉNDICE C	49
APÉNDICE D	52
APÉNDICE E	53
APÉNDICE F	58

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
HLB	Hospital León Becerra
SBU	Salario Básico Unificado
SKU	Stock Keeping Unit
IESS	Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social

SIMBOLOGÍA

g	Gramo
z	Factor de seguridad
k	Costo de faltantes
l	Costo de mantener inventario
S	Costo de adquisición
C	Costo de producto
Q	Cantidad óptima de pedido
pro	Punto de reorden
T	Periodo de revisión
M	Nivel de inventario máximo
NS	Nivel de servicio
D	Demanda
D_L	Demanda durante el tiempo de reabastecimiento
D_{L+T}	Demanda durante el tiempo de reabastecimiento más el periodo de revisión
σ_L	Desviación estándar del error durante el tiempo de reabastecimiento
σ_{L+T}	Desviación estándar del error durante el tiempo de reabastecimiento mas periodo de revisión
Vc	Coeficiente de Variación

ÍNDICE DE FIGURAS

Figure 1-1. Series de tiempo de las variables “Ingreso semanal” y “Consumo semanal” de Ceftriaxona.....	3
Figura 2-1. Diagrama de flujo de metodología utilizada	15
Figura 2-2. Pareto de cantidades consumidas de cefalosporinas (2010-2015)	17
Figura 2-3. Ampolla de 1 g de polvo Ceftriaxona.....	18
Figura 2-4. Demanda de Ceftriaxona en el HLB	19
Figura 2-5. Consumo semanal de Ceftriaxona (2014-2015).....	20
Figura 2-6. Resumen de la variable “Consumo de ceftriaxona”	20
Figura 2-7. Equipo de trabajo de farmacia del HLB	21
Figura 3-1. Consumo semanal de Ceftriaxona	29
Figure 3-2. Resumen gráfico del pronóstico de Ceftriaxona	35
Figure 3-3. Comportamiento del error del pronóstico.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetro de la variable “Ingreso Semanal de Ceftriaxona”	3
Tabla 2. Costos actuales semanales del manejo de Ceftriaxona	24
Tabla 3. Cuadro de relación entre políticas y tipos de producto	27
Tabla 4. Errores de los escenarios	30
Tabla 5. Estadísticas de la regresión lineal.....	32
Tabla 6. Análisis de varianza de la regresión lineal	32
Tabla 7. Factores influyentes en la regresión	33
Tabla 8. Errores e indicadores del pronóstico.....	34
Tabla 9. MAD de diferentes modelos	34
Tabla 10. Valores de costos y demandas	37
Tabla 11. Resultados de la política de inventario (<i>pro, Q</i>)	37
Tabla 12. Costos de la política de revisión continua	38
Tabla 13. Comparación entre la situación actual y la política propuesta	38
Tabla 14. Costos de política de revisión periódica.....	39
Tabla 15. Comparación entre la situación actual, la política propuesta por autores y la política propuesta por HLB.....	39

INTRODUCCIÓN

El HLB es una institución creada por iniciativa de los guayaquileños León Becerra, Cesar Borja, Alberto Reina y José María Estrada el 5 de Octubre de 1905. Está ubicado en la calle Eloy Alfaro 2402 Guayaquil, Ecuador. Actualmente cuenta con alrededor de 160 camas, 80 salas generales, 80 camas en tres pensionados y atiende diariamente entre 100 y 200 pacientes en consulta externa. Además, atiende a pacientes derivados del IESS.

Dentro del hospital hay dos puntos de distribución de medicina: la farmacia y la bodega de proveeduría. La farmacia atiende los pedidos de los pacientes de consulta externa y de los pacientes hospitalizados. Proveeduría se encarga únicamente de proveer aquella medicina que es utilizada en cirugías.

El siguiente trabajo buscó mejorar el manejo de inventario de los antibióticos de tercera generación utilizados en el HLB con la colaboración del Ing. John Villamar, jefe de bodega de proveeduría y la Sra. Amelia Estrada, jefa de farmacia.

Para mejorar el manejo de inventario se determinó cuántos y cuáles eran los antibióticos de tercera generación y se limitó el alcance del proyecto únicamente a los más significativos.

Una vez seleccionado el antibiótico, se realizó un estudio estadístico de la naturaleza de la demanda del mismo. Para ello se analizó el kardex del fármaco seleccionado y otros registros del hospital.

Conocido el comportamiento de la demanda del antibiótico se desarrolló un modelo de pronóstico para la misma, para poder predecir demandas futuras. Los factores del modelo fueron planteados por expertos en el campo de medicina que conocen la frecuencia de los medicamentos y las tendencias de brotes de enfermedades. Una vez evaluado y aprobado el modelo final, se seleccionó la política de inventario que mejor se adecúe.

Para la evaluación financiera de la política fue necesario estimar costos, para lo cual se utilizó información registrada en el hospital, criterios de personas que laboren en el campo de medicina o afines al mismo, y suposiciones realizadas por los autores de este trabajo.

La política desarrollada por los autores de este documento se comparó contra una política de revisión periódica propuesta por el HLB. Para cada política se realizó una simulación en Excel de su funcionamiento y se calculó el costo total de cada una.

Una vez escogida la mejor política se esquematizó un control operativo de fácil comprensión para el usuario que debiese ejecutarla. De igual manera se elaboró una guía para actualizar la política en caso de que se presenten cambios en la demanda o en la situación del hospital y sea necesario modificar los parámetros de la misma acorde a las nuevas condiciones.

CAPÍTULO 1

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

El problema identificado dentro del HLB en cuanto al manejo de inventario del antibiótico de tercera generación “Ceftriaxona 1g polvo para inyección” es el exceso inventario del mismo. La Figura 1 es una gráfica de dos curvas sobrepuestas, una que representa el consumo actual de la Ceftriaxona y otra que indica las cantidades ingresadas al hospital en base a los pedidos realizados al proveedor de dicho antibiótico. A partir de esta gráfica, se confirmó la existencia del problema de exceso de inventario de Ceftriaxona desde la primera semana de enero del 2014 hasta la última semana de octubre del 2015.

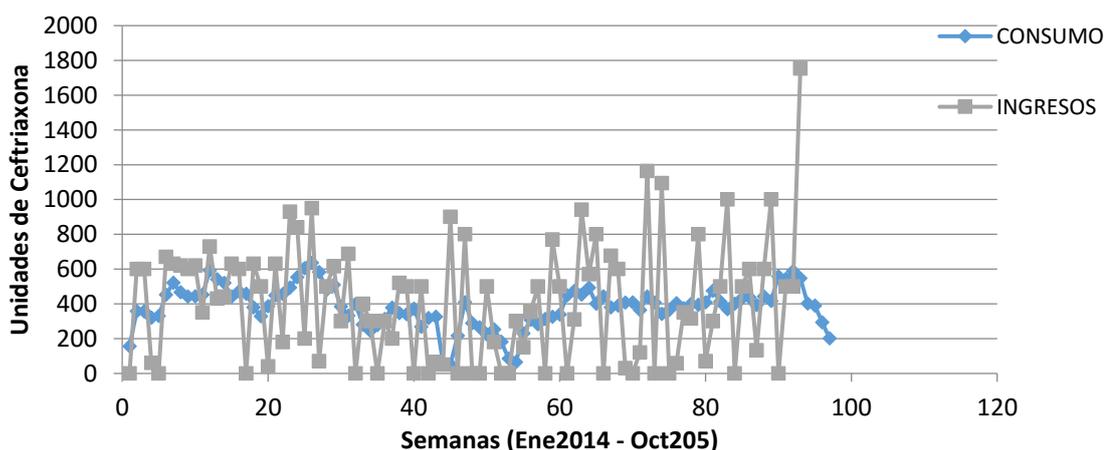


Figure 1-1. Series de tiempo de las variables “Ingreso semanal” y “Consumo semanal” de Ceftriaxona

Al exceso de inventario se sumó el problema de irregularidad de pedidos que mantenía el hospital. La Tabla 1 es resultado del análisis estadístico de los datos recopilados del comportamiento de la Ceftriaxona.

Tabla 1. Parámetro de la variable “Ingreso Semanal de Ceftriaxona”

Período	2014 – 2015
Media	503 ampollas
Desviación estándar	21 ampollas
Coefficiente de variación	0.637

El alcance de este proyecto se extendió únicamente a Farmacia pues ahí se almacena el 96% de toda la Ceftriaxona del hospital. Para corregir el problema se tomaron en cuenta las restricciones monetarias y de espacio.

El problema definido, dentro de la farmacia del HLB durante los años 2014 y 2015, fue un exceso de inventario de Ceftriaxona de aproximadamente 28% (503 unidades ingresadas-393 unidades consumidas /503 unidades ingresadas) determinado a partir del desfase entre las cantidades pedidas y consumidas en un mismo periodo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Reducir el nivel de inventario del antibiótico Ceftriaxona en el HLB en un 20%, para disminuir los costos del manejo impreciso de inventario actual.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar una política de inventario adecuada para el proceso de pedido y almacenamiento del antibiótico Ceftriaxona en el HLB.
- Desarrollar un modelo de pronóstico para la demanda de Ceftriaxona mediante una regresión lineal combinando factores cuantitativos y factores cualitativos.
- Implementar controles visuales fáciles de comprender para el usuario encargado de ejecutar de la política de inventario.
- Estructurar los procedimientos operativos estandarizados e ilustrados de manera sencilla y didáctica.

1.2 Marco teórico

1.2.1 Introducción a los inventarios

Los inventarios son acumulaciones de producto terminado, producto en proceso o materia prima. La finalidad de estos es ofrecer un mejor servicio al cliente o

reducir costos mediante economías de escala. La mejora en el nivel de servicio proviene de tener producto disponible siempre que el cliente lo solicite, aumentando la satisfacción del mismo. Además, permite mantener o incrementar el nivel de ventas. La reducción de costos proviene del uso de economías de escala por parte de la empresa, estableciendo grandes lotes de producción. A su vez, puede darse el caso de que el costo de mantener pedidos grandes en bodega de materia prima, resulte más económico que realizar pedidos frecuentes.

Hay que considerar que existe un costo de oportunidad según lo almacenado como inventario, representado como el valor en dólares del mismo. Este costo es la pérdida de la posibilidad de invertir dicho dinero en otra actividad más rentable. Sin embargo, una escasez de inventario significa perder ventas, y, por consiguiente, clientes [3].

A continuación, se presentan algunas definiciones de términos utilizados a lo largo del documento:

- **Política de Inventario:** Es un conjunto de normas o reglas que permiten contestar dos preguntas en cuanto al manejo de inventario, cuándo y cuánto se debe pedir, con el fin de garantizar niveles óptimos del mismo para cubrir la mayoría de pedidos minimizando costos [1].
- **Inventario de ciclo:** Es la cantidad de inventario que se rota para satisfacer las órdenes de ventas regulares y cubrir la mayoría de las compras. Se podría definir también como la porción de inventario que puede manejar según un plan sin necesitar el stock de seguridad [1]. Se calcula utilizando la ecuación:

$$\text{Inventario de ciclo} = \text{Inventario total} - \text{inventario de seguridad} \quad (1.1)$$

- **Inventario de seguridad:** Equivale a la cantidad de inventario que se utilizara en casos de existir variaciones en la demanda y/o en los tiempos de entrega [1].

- **Fill rate:** Es una tasa o proporción que mide la cantidad de pedido entregada en relación con la que había sido pedida, por lo tanto, es un indicador que mide la efectividad de un inventario para cubrir con la demanda [1].

$$Fill\ rate = \frac{Unidades\ entregadas}{Unidades\ solicitadas} \quad (1.2)$$

- **Order Fill rate:** El número de órdenes completas es un indicador que mide el % de cumplimiento de las órdenes. Es una relación que refleja cuantas de las órdenes fueron entregadas con la cantidad solicitada completa [1].

$$Order\ fill\ rate = \frac{órdenes\ completas}{Total\ órdenes} \quad (1.3)$$

- **Nivel de servicio del ciclo:** Es la probabilidad de encontrar existencias en el inventario [1].

$$NS = 1 - \frac{QIC}{Dk + QIC} \quad (1.4)$$

- **Punto de Re-orden:** Es la cantidad a la cual se permite caer el nivel de inventario, antes de colocar un pedido de reaprovisionamiento, es decir, es el nivel de inventario al cual, una vez alcanzado, se debe realizar una orden de reabastecimiento [1].

Los costos de servicio de inventario (I) son los costos que una empresa incurre para mantener dicho inventario, como los servicios básicos del lugar en el que está almacenado, los seguros de protección contra robos o incendios, y el salario de los trabajadores que se encargan de manejar el inventario. Por la dificultad del cálculo de estos costos, es posible aproximar su valor al del costo de oportunidad explicado previamente [1].

Los costos de adquisición (S) incluyen los costos asociados a realizar un pedido de material. Este costo incluye todas las actividades que integran el proceso de pedido de material, desde la revisión del nivel actual de inventario hasta la recepción de material y perchado. Este costo debe ser calculado considerando diferentes departamentos, ya que en el proceso de adquisición están

involucrados departamentos como compras, producción, bodega, mercadeo, entre otros [1].

Los costos por falta de existencias (k) ocurren cuando se coloca un pedido y este no puede surtir desde el inventario que normalmente existe. Este costo puede presentarse de dos formas: cuando se pierde la venta o cuando se mantiene el pedido pendiente. El costo por pérdida de ventas ocurre cuando el cliente solicita el producto faltante y decide cancelar su compra. Este costo es el margen de ganancia que se pierde por no tener en stock el producto. A este margen se le debe sumar un costo adicional debido al impacto negativo de tener escasez sobre ventas futuras. El costo de pedidos pendientes ocurre cuando el cliente no cancela la compra y decide esperar a que su pedido sea surtido. Estos costos pueden incluir costos adicionales de personal, transporte y manejo cuando los pedidos no se entregan a través del canal normal de distribución [1].

1.2.2 Clasificación ABC de dos niveles

ABC por valor

Para determinar el tipo de producto, se debe realizar un análisis de Pareto. La clasificación del producto será de acuerdo a la demanda y al valor monetario del producto. Un producto de poca demanda y poco valor no va a ser más representativo que un producto muy demandado y con alto valor. La regla básica de clasificación ABC ordena que, si el producto se encuentra entre los productos que representan el 80% del movimiento monetario del lugar, el producto es tipo A. El producto es tipo B si se encuentra entre los productos que representan el 15% del movimiento monetario. Es tipo C si se encuentra entre los productos que representan el 5%. Los productos tipo A suelen representar el 20% del total de productos almacenados [1].

Ítems de lento y rápido movimiento

Determinar si el producto es de rápido movimiento o lento movimiento depende del consumo del producto durante el tiempo de reabastecimiento D_L , es decir durante el tiempo que se emite un pedido hasta que este llega. Si $D_L > 10$, el producto es de rápido movimiento, si $D_L < 10$, el producto es de lento movimiento [1].

Distribución de Probabilidad recomendadas de acuerdo al ABC

La mayor parte de los modelos de inventario asumen que la demanda sigue una distribución de probabilidad Normal, Poisson, Laplace o Uniforme. La necesidad de conocer la distribución de probabilidad de la demanda es la de determinar la media y desviación estándar ya que estas son parámetros claves para el modelamiento de la misma. No siempre es posible aproximar la demanda a una de las distribuciones descritas anteriormente, por ello, autores como Silver, Pyke y Peterson argumentan que se puede trabajar con la distribución de la demanda pronosticada y la desviación estándar del error del pronóstico para el modelamiento de inventarios. Además, pruebas exhaustivas han demostrado que, si el producto es de rápido movimiento, la distribución normal puede ser usada para modelar la demanda durante el lead time, caso contrario en que el producto sea de lento movimiento, la distribución Poisson o Laplace puede ser utilizada para modelar la demanda durante el lead time [2].

Modelos de Decisión para Demanda Aproximadamente constante.

El comportamiento de la demanda de un producto se puede clasificar en dos grandes grupos: demanda regular y demanda irregular, que a su vez pueden ser determinísticas o probabilísticas. [2]

Una demanda es regular o aproximadamente constante cuando el coeficiente de variación es menor a 0.25. Si es mayor a 0.25, la demanda es considerada irregular [2]. Determinar si la demanda es determinística o probabilística, depende

si se puede predecir qué pasará el siguiente periodo de tiempo. Si se conoce que pasará con la demanda en los siguientes periodos, se considera determinística, sino es así, se considera probabilística.

Es necesario que el control de inventario este regido por una política. La selección de una política de inventario está íntimamente ligada a la naturaleza de la demanda y al modelo de pronóstico. Dicha política depende del tipo de producto que se vaya a controlar por lo que se debe:

- Determinar qué tipo de producto es: tipo A (alta importancia), tipo B (media importancia) o tipo C (baja importancia).
- Determinar si el producto es de rápido movimiento o lento movimiento.

1.2.3 Políticas de Inventario

Políticas de revisión continuas, política de punto de reorden, cantidad de pedido (*pro*,*Q*)

La primera política a analizar es la política de punto de reorden, cantidad de pedido fija (*pro*,*Q*). Esta política es de revisión continua, es decir que debe existir una revisión constante del nivel de inventario. Cuando éste cae hasta el punto de reorden “*s*” se debe hacer un pedido de *Q* unidades.

La cantidad *Q* de pedido está dado por:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} \quad (1.5)$$

Donde,

D: demanda (unidades/tiempo)

S: costo de realizar un pedido (\$)

I: costo de mantener inventario (porcentaje del costo del producto/tiempo)

C: costo del producto

El punto de reorden *pro* está dado por:

$$pro = \hat{D}_L + z\hat{\sigma}_L \quad (1.6)$$

donde,

\hat{D}_L : demanda promedio pronosticada

z : factor de seguridad

$\hat{\sigma}_L$: desviación estándar del error del pronóstico

El factor de seguridad z se determina:

$$P(z) = NS \quad (1.7)$$

es decir, el nivel de servicio es el área bajo la curva de la distribución que sigue la demanda y z es la variable que cumple con esa probabilidad.

El nivel de inventario considera el inventario que se encuentra en la bodega y no el inventario en tránsito. Si se usara el inventario en tránsito, se podría caer en el error de emitir pedidos seguidos y aumentar el nivel de inventario innecesariamente. Entre las ventajas que tiene esta política están su simplicidad de implementación y la baja probabilidad de cometer errores. Una forma de aplicar esta política es estableciendo un sistema de dos gavetas [2].

Política de revisión continua, punto de reorden, nivel máximo (pro, M)

La segunda política a analizar es la de punto de reorden, nivel máximo (pro, M). Esta es una política de revisión continua y se realiza un pedido cuando el nivel de inventario llega al punto de reorden. La cantidad a pedir va a estar dada, por la diferencia entre el nivel máximo de inventario establecido y el nivel actual de inventario.

El pro está dado por la ecuación (1.6) y el nivel máximo es calculado mediante la ecuación:

$$M = pro + Q \quad (1.8)$$

donde Q es determinado usando la ecuación (1.5).

En esta política la cantidad de pedido es variable, sin embargo si las transacciones de inventario son basadas en unidades, el sistema s, S es exactamente igual al sistema s, Q . La principal ventaja de esta política es el bajo costo de abastecimiento y de mantener inventario [2].

Política de revisión periódica, nivel máximo (T, M)

La política de revisión periódica, nivel máximo (T, M) es la tercera política a revisar. Esta política también es conocida como sistema de reabastecimiento cíclico. Cada T intervalos de tiempo, se revisa el nivel de inventario y se hace un pedido de reabastecimiento de la diferencia entre el nivel máximo de inventario permitido (M) y el nivel actual de inventario.

El intervalo de revisión T está dado por:

$$T^* = \sqrt{\frac{2S}{ICD}} \quad (1.9)$$

donde,

D : demanda (unidades/tiempo)

S : costo de realizar un pedido (\$)

I : costo de mantener inventario (porcentaje del costo del producto/tiempo)

C : costo del producto

y el nivel máximo M está dado por:

$$M = \hat{D}_{TE+T} + k\hat{\sigma}_{TE+T} \quad (1.10)$$

donde,

\hat{D}_{TE+T} : demanda pronosticada durante el tiempo de entrega más el intervalo de revisión

z : factor de seguridad

$\hat{\sigma}_{TE+T}$: error del pronóstico durante el tiempo de entrega más el intervalo de revisión

Este sistema es muy utilizado en lugares donde no se utiliza un sistema de control computarizado. La principal ventaja de esta política es que es muy útil cuando se tiene que pedir varios productos del mismo proveedor.

Política combinada de revisión periódica, punto de reorden, nivel máximo (T, pro, M)

La última política a analizar es una política combinada de revisión periódica, punto de reorden, nivel máximo (T, pro, M). Esta es una combinación de la política

de punto de reorden, nivel máximo (pro, M) y revisión periódica, nivel máximo (T, M). Es decir, el nivel de inventario se revisa cada R periodos de tiempos, si el nivel de inventario está abajo del punto de reorden pro , se debe pedir la cantidad de inventario hasta llegar al nivel máximo M . Si el nivel de inventario no está por debajo del punto de reorden, no se debe hacer nada hasta la próxima revisión. El intervalo de revisión T está dado por la ecuación (1.9), el punto de reorden pro está dado por la ecuación (1.6) y nivel máximo M está dado por la ecuación (1.10). Esta política correctamente implementada tiene un costo pertinente menor que cualquier otra política de inventario [2].

1.2.4 Modelos de pronóstico

Un modelo de pronóstico busca predecir el comportamiento de la demanda. Existen diferentes tipos de modelos para comportamientos de demandas diferentes. Los modelos de pronóstico se pueden clasificar en dos grandes grupos: los cualitativos y cuantitativos. Los modelos cualitativos se basan en la experiencia de las personas. Estos modelos dependen de un experto que decida cómo se comportará la demanda en los próximos periodos. El principal problema de estos modelos es que, si otra persona se encarga de realizar el pronóstico, probablemente se equivoque por carecer de información objetiva y documentada. Los modelos cuantitativos se basan en información histórica, entre los cuales se pueden encontrar media móvil, media ponderada, series de tiempo, suavización exponencial y regresión lineal múltiple [4]. Para fines del siguiente trabajo, se revisarán los modelos de media móvil, media ponderada y regresión lineal múltiple.

Modelo de media móvil

El modelo de pronóstico de media móvil establece n periodos de los cuales se va a calcular una media. Estos n periodos son los periodos previos al periodo que se va a pronosticar. Este modelo se utiliza cuando la demanda de un periodo está íntimamente relacionada con la demanda de los n periodos anteriores, es decir cuando la demanda no es tan cambiante de un periodo a otro. El modelo solo

considera una variable, la demanda, que se calcula para un momento determinado con la ecuación (1.11).

$$D_i = \frac{D_{i-1} + D_{i-2} + \dots + D_{i-n}}{n} \quad (1.11)$$

donde,

i : el periodo que se desea pronosticar

n : el número de periodos que se desean tomar para el pronóstico.

Otro modelo es el modelo de media ponderada. Este modelo otorga diferentes pesos a las demandas de los periodos anteriores, a diferencia del modelo de media móvil que las pondera por igual. Es decisión del pronosticador el valor del peso ($\alpha, \beta, \gamma \dots$) que se asigne a cada periodo. Comúnmente se asigna un peso mayor al periodo más próximo.

$$D_i = \alpha D_{i-1} + \beta D_{i-2} + \gamma D_{i-3} + \dots \quad (1.12)$$

donde,

i : el periodo que se desea pronosticar

La suma de los valores de las ponderaciones $\alpha, \beta, \gamma \dots$ debe ser igual a 1.

Modelo de regresión múltiple

El modelo de regresión lineal múltiple es adecuado cuando existe más de un factor que afecta la variable pronosticada. La regresión múltiple es una técnica estadística que permite determinar el grado de asociación entre unas variables seleccionadas (independientes) y la variable de respuesta (dependiente). Este método determina coeficientes para las variables independientes que, a través de una ecuación matemática, pueden expresar la variable dependiente en forma numérica. Una ventaja de la regresión lineal es la facilidad de agregar variables cualitativas al modelo. Estas variables cualitativas (ficticias) son valores binarios que representan información que influye en el pronóstico. Las variables ficticias son la representación de la experiencia de la persona encargada que hará que el modelo se ajuste más a la realidad.

La selección del mejor modelo depende del que se adapte al comportamiento de la demanda. Aunque los modelos cuantitativos utilicen datos reales y se pueda predecir con más certeza la demanda, un modelo mixto que utilice tanto datos históricos como la experiencia de las personas, es el modelo que se debería considerar.

Evaluación de modelos de pronósticos

Para la selección del mejor modelo de pronóstico existen medidas cuantitativas del error que ayudan a seleccionar el modelo que se acerca más a la realidad. Entre las medidas más conocidas están: el Mean Absolute Deviation (MAD), el Mean Squared Error (MSE), el Mean Absolute Percent Error (MAPE) y el Tracking Signal (TS). [1]

El MAD es utilizado cuando el costo de un error de pronóstico es proporcional al tamaño del error. Se calcula:

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |F_t - D_t|}{n} \quad (1.13)$$

El MSE se utiliza cuando el costo de errores es mayor que las ganancias de un pronóstico muy preciso. Se calcula:

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (F_t - D_t)^2}{n} \quad (1.14)$$

El MAPE se recomienda utilizar cuando el pronóstico tiene estacionalidad y varía considerablemente de un periodo a otro.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n |F_t - D_t| / D_t}{n} * 100 \quad (1.15)$$

El TS es útil cuando el patrón de demanda presenta cambios inesperados que se alejan de su comportamiento común. Se calcula:

$$TS = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |A_t - F_t|} \quad (1.16)$$

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

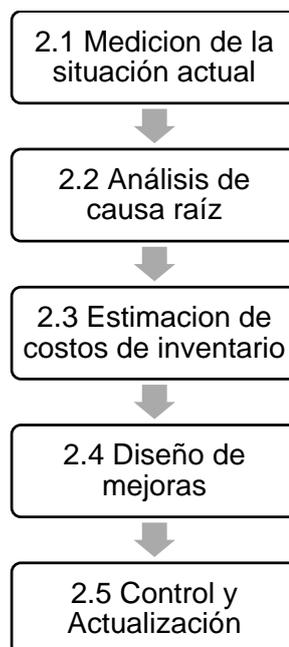


Figura 2-1. Diagrama de flujo de metodologia utilizada

2.1 Medición de la situación actual

Para la primera parte de este proyecto se recolectó toda la data pertinente al manejo de los fármacos de las siguientes fuentes de información:

- Kardex o registro digital del movimiento, ingreso, ventas, devoluciones, facturas y consumo de los medicamentos e insumos del HLB.
- Base de datos del registro de ingreso, salida, diagnóstico, y antibióticos consumidos para cada paciente que llegó al HLB.
- Series de tiempo de la cantidad de pacientes que asistieron al hospital, para conocer las épocas de mayor afluencia.

A partir de la base de datos que mantiene el sistema informático del hospital y la colaboración del Ing. John Villamar, Jefe de Bodega y la Sra. Amelia Estrada, Jefe de Farmacia, fue posible plasmar y analizar el manejo de inventario actual de la institución.

Debido a la carencia de controles sobre la manipulación de los productos o insumos, limitaciones de presupuesto para las compras y restricciones de espacio dentro del hospital, se planteó la necesidad por parte del Dr. Roberto Mena, representante de la entidad, de mejorar el manejo de ciertas medicinas. Para este proyecto en particular la solicitud fue realizada específicamente para los antibióticos de tercera generación de la familia de las Cefalosporinas ya que ocupan el 9no lugar en la lista de los más vendidos en farmacia. Los fármacos registrados en la base de datos del HLB desde el año 2010 hasta finales del año 2015 que pertenecen al grupo anterior, fueron los siguientes:

- ACROCEF IV 1G AMPOLLASX1
- CEDAX CAPX400MGX4
- CEDAX SUSX36MGX30ML
- CEFIRAX COMPRIMIDOS 200MGX10
- CEFIRAX SUSP. 100MG/5ML
- CEFOTAXIMA O CLAFORAN AMPX1
- CEFTAZIDIMA 1G AMPOLLA GENFARX1
- CEFTRIAXONA 1 GR. AMP
- CEFTRIAXONA 1000MG POLVO PARA INYECCION
- CEFTRIAXONA 1G EXEMPLAX1
- CEFTRIAXONA 1G GENFAR AMPX1
- CEFTRIAXONA POLVO PARA INYECCION 1000MG
- CEFTRISIN AMP.1GR.(CEFTRIAXONA)

- GRIFOTAXIMA 1 G AMPOLLA
- GRIFOTRIAXONA 1G + AGUA BIDEISTI
- GRIFOTRIAXONA AMP. 1GR.
- TRIAXONE 1G AMPOLLA IV X 1

En vista de que fueron 17 fármacos listados se quiso determinar el volumen de ventas de cada uno para escoger a aquellos que eran más demandados. Para ello se realizó un diagrama de Pareto mostrado en la Figura 2-2. para aplicar la regla 80-20 y priorizar el estudio de los productos más relevantes.

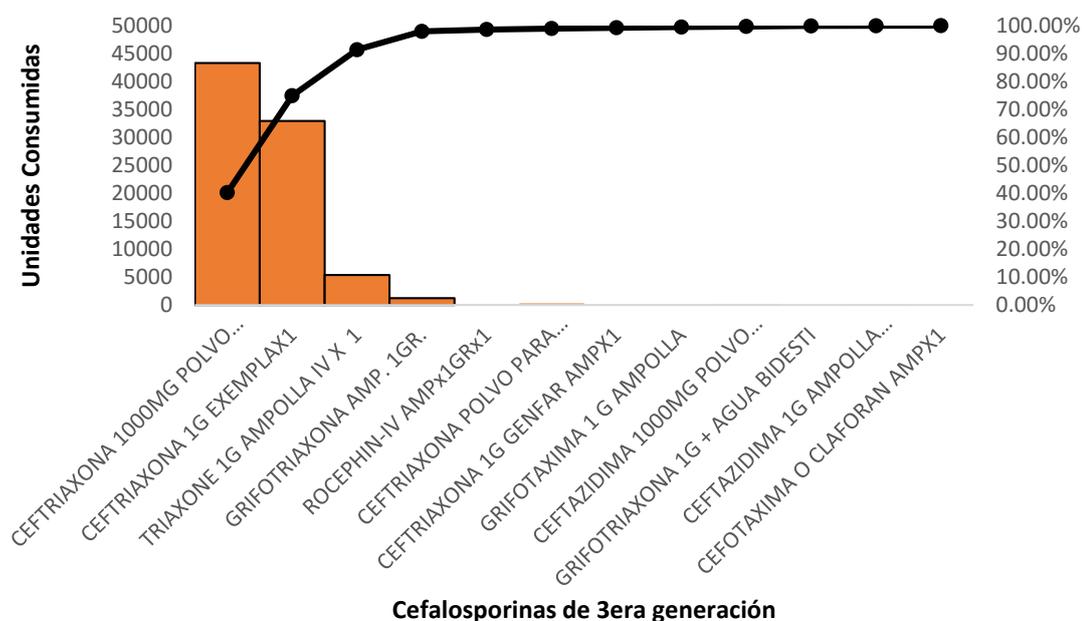


Figura 2-2. Pareto de cantidades consumidas de cefalosporinas (2010-2015)

El Pareto reflejó que la Ceftriaxona 1000 mg polvo para inyección y la Ceftriaxona 1g Exempla, representaban el 75% del movimiento de todas las cefalosporinas de tercera generación para los años indicados. Cabe recalcar que ambos productos eran iguales, pero fueron ingresados en la base de datos de manera distinta, uno con un nombre genérico y otro bajo el nombre comercial de “Exempla”. En los últimos 3 años, 2013,

2014 y 2015 la base de datos presentó registros únicamente de la Ceftriaxona como polvo para inyección, por lo que el enfoque del proyecto se redujo específicamente al manejo de Ceftriaxona. La presentación de venta de la Ceftriaxona, se muestra en la Figura 2-3.



Figura 2-3. Ampolla de 1 g de polvo Ceftriaxona

El producto Ceftriaxona fue categorizado como producto A debido a su valor monetario dentro del hospital puesto que, como se explicó en el marco teórico, se encuentra dentro del grupo de productos que generan el 80% de las ventas del hospital. Además, fue considerado como un antibiótico de rápido movimiento puesto que su demanda en el tiempo de reposición (1 semana) fue en promedio de 393 (mayor a 10).

La Ceftriaxona es un antibiótico de la familia Cefalosporinas de tercera generación utilizado para tratar infecciones causadas por bacterias tipo Gram negativas y Gram positivas. Algunos de los diagnósticos más frecuentes que trata la Ceftriaxona son: neumonía, meningitis, infecciones urinarias, gastroenteritis.

La presentación del antibiótico es una ampolla disódica de 0.5 g o 1 g que debe ser diluida para su dosificación vía intravenosa o intramuscular, dependiendo del tipo de infección. La cantidad suministrada varía según la edad y la condición del paciente [5].

Se utilizaron los datos recopilados para graficar el comportamiento de la demanda del antibiótico Ceftriaxona en el periodo 2010-2015 como se muestra en la Figura 2-4.

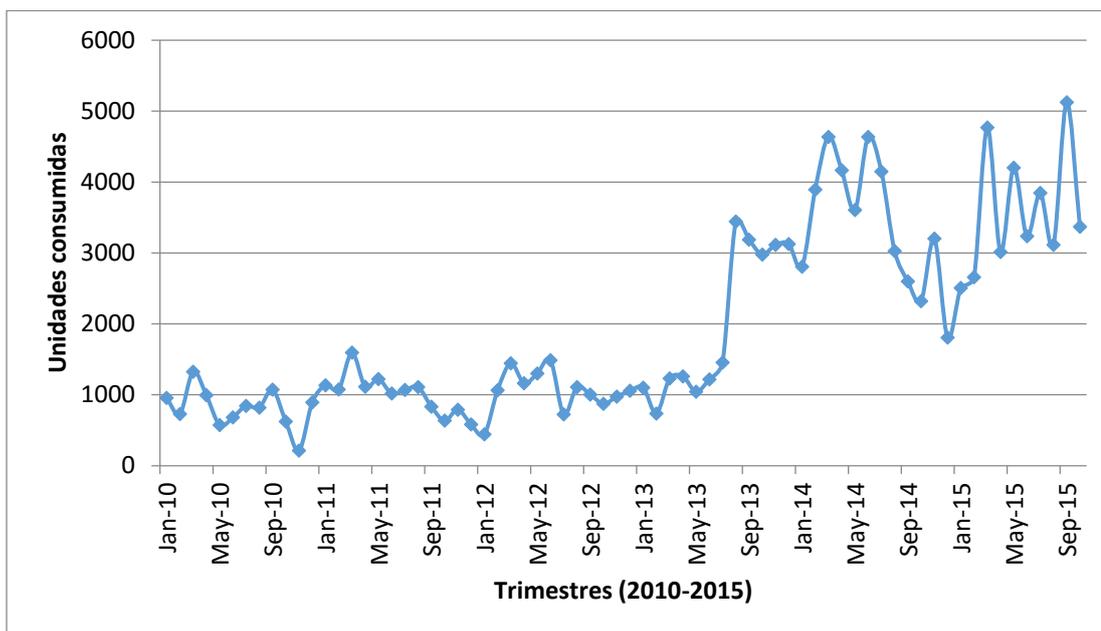


Figura 2-4. Demanda de Ceftriaxona en el HLB

La serie de tiempo indicó que a partir del año 2013 el uso de Ceftriaxona aumentó drásticamente y se mantuvo para los años consecutivos.

En vista de que la información previa a julio del 2013 no era una representación cercana a la realidad, debido a que el consumo promedio de Ceftriaxona aumentó, se utilizaron los datos desde enero del 2014 en adelante para posteriores análisis de este trabajo.

Actualmente la Sra. Amelia Estrada, Jefe de Farmacia, es la encargada de realizar los pedidos de dicho antibiótico de una manera muy informal, sin respaldar la fecha y cantidades de pedido en algún registro digital. A través de una llamada telefónica del celular propio, se contacta a un único proveedor HOSPI-MEDIKKA, laboratorio farmacéutico cuyo tiempo de entrega es de una semana, y se hace la solicitud verbalmente. Los pedidos se realizan cuando el encargado de pedir lo crea necesario.

Para el análisis del comportamiento de la variable Ceftriaxona se segmentó la demanda de manera semanal, por ser este el tiempo de reposición, como se muestra en la Figura 2-5, indicando mediante una línea el límite entre el año 2014 y 2015.

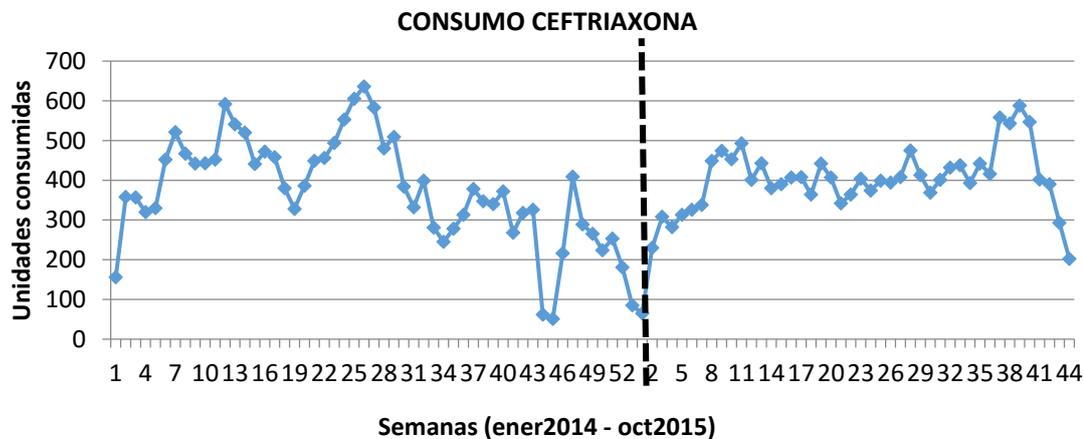


Figura 2-5. Consumo semanal de Ceftriaxona (2014-2015)

Para describir el comportamiento de la variable “Consumo de Ceftriaxona” fue necesario recurrir a programas como Minitab y Promodel para estimar la distribución de probabilidades que seguían los datos.

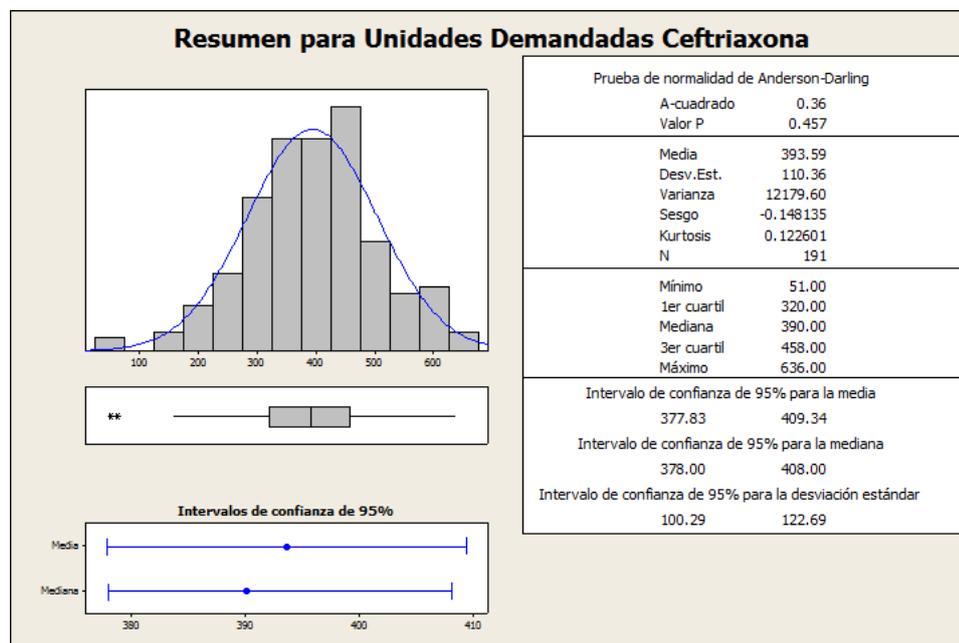


Figura 2-6. Resumen de la variable “Consumo de ceftriaxona”

La Figura 2-6 es el resultado del análisis de datos de demanda semanal de Ceftriaxona utilizando el software estadístico Minitab para conocer el promedio de

ampollas de Ceftriaxona consumida. En vista de que el valor p de la prueba de normalidad de Anderson-Darling fue mayor a 0.05 se concluyó que la distribución de la demanda se aproximaba a una normal con los parámetros ilustrados: **$N(393.59, 110.36^2)$** .

Utilizando la ecuación (2.1), donde d es la demanda promedio (393.59) , y σ^2 es la varianza de la misma (110.36²), se calculó el coeficiente cuadrático de variación de la demanda semanal de Ceftriaxona, obteniéndose un valor de 0.07 que por ser menor a 0.25 permitió afirmar que la demanda era de tipo constante.

$$Vc = \frac{\sigma^2}{d^2} \quad (2.1)$$

2.2 Análisis de causas raíz

Para analizar las causas del problema de exceso de inventario, se realizó una lluvia de ideas junto con el grupo de trabajo conformado por el Dr. Roberto Mena, Jefe del Departamento de Auditoría Clínica, la Sra. Amelia Estrada, Jefe de Farmacia, el Ing. Bryan Cantos y algunas asistentes de farmacia. La Figura 2-7 muestra una parte del equipo de trabajo.



Figura 2-7. Equipo de trabajo de farmacia del HLB

El resultado de la lluvia de ideas fue la siguiente lista:

- Los pedidos se realizan según el criterio personal del jefe de farmacia en las cantidades y momentos que se crea conveniente.
- Los pedidos los maneja farmacia en lugar de manejarlos la bodega de proveeduría.
- El proveedor tiene tiempos de entrega muy variables.
- La demanda de la Ceftriaxona es impredecible o muy variable.
- Los proveedores tienen una cantidad mínima de pedido.
- El precio de adquisición y el costo de hacer un envío dependen de la cantidad que se ordene.

Verificando cada causa potencial, se observó que: el tiempo de entrega del proveedor es fijo, el costo de hacer un pedido es fijo, el costo de adquirir el antibiótico es unitario y constante sin importar la cantidad que se ordene, la cual no tiene un valor mínimo. La demanda de la Ceftriaxona presenta estabilidad y se considera constante. Según la Tabla 1 **Parámetro de la variable “Ingreso Semanal de Ceftriaxona”**, ubicada en el Capítulo 1, sección 1, los pedidos de Ceftriaxona tienen un coeficiente de variación de 0.637. Dicho coeficiente es mayor a 0.25, lo que significa que los pedidos son irregulares. Por lo tanto, la causa raíz sería la forma empírica de hacer los pedidos sin una política que los guíe.

2.3 Estimación de costos de inventario

Para la evaluación económica de la situación actual y situaciones futuras, se establecieron los siguientes rubros junto a la manera de calcularlos:

- **Costo del material (fármaco):** este valor proviene del proveedor, quien actualmente es Hospimedikka. El costo para el HLB es de \$1.27 por cada ampolla de 1 gramo, y el precio de venta al público es \$1.91/uni.
- **Costo de mantener el inventario expresado en porcentaje del costo del material:** Debido a que el costo de mantener inventario involucra variables como consumo de servicios básicos, salarios, mantenimiento, entre otras, fue muy difícil de estimar, por lo tanto, se estimó el valor de éste únicamente como

el costo de oportunidad. Dicho costo fue obtenido del Gerente Hospitalario del HLB. El costo fue establecido en un 20% anual.

- **Tiempo promedio de vida del fármaco en días:** se refiera a la caducidad del producto según lo establecido por su fabricante, que por lo general está indicada en la presentación física del mismo. El fármaco Ceftriaxona caduca aproximadamente luego de 4 años de su elaboración, 1440 días o 208 semanas cuando la ampolla en polvo no ha sido abierta, caso contrario, una vez diluido completamente, el producto dura entre 8 o 12 horas.
- **Promedio y desviación estándar del tiempo de entrega (lead time) del proveedor:** corresponde al tiempo promedio de reposición de un producto. Para la Ceftriaxona es de una semana cuando el proveedor es Hospimedikka, quien envía el pedido desde Quito. En caso de que el pedido se solicite a otros proveedores de Guayaquil, el lead time es de un día. No es posible calcular el promedio ni la desviación estándar del lead time ya que actualmente no se registra la fecha en que se coloca la orden.
- **Descuentos por cantidad otorgados por el proveedor del medicamento:** es un acuerdo pactado para fijar precios del proveedor a su comprador. En este caso el laboratorio Hospimedikka estableció un descuento fijo del 15% del precio de venta, indiferentemente a la cantidad que se compre. El precio al que el proveedor vende el producto es \$1.27.
- **Días de crédito otorgados por el proveedor:** En teoría el proveedor otorga por acuerdo 60 días de crédito, sin embargo, el hospital tarda por lo general 3 meses o más en realizar sus pagos.
- **Costo fijo de ordenar materiales (incluye: costo del tiempo del comprador*, costo de transporte*, costos de recepción, otros costos relacionados):** Para la estimación de este costo se tomó el salario de la encargada de realizar el pedido, la misma que lo recibe y con ayuda de otro

empleado descarga la mercadería y la contabilizan. Ambos ganan el SBU, el tiempo empleado en llamar para ordenar es de 3 minutos, el de recibir, contar y ordenar, 15 minutos. Calculando la cantidad de minutos trabajados por el empleado mes, \$354 serían \$0.0246/min, que multiplicado por los 33 minutos que tardan entre los dos encargados, el costo de pedir resulta en \$0.8118.

- No existe costo de transporte o flete.
- **Costo unitario por faltantes (venta perdida) para su producto:** Farmacia vende el producto a \$1.88 con un descuento del 10% (\$1.70) si el pago es al contado si les cuesta \$1.27 adquirirlo, el margen de ganancia es de 0.43 ctvs. que sería igual al costo de una venta perdida. No existe un impacto al costo social como deterioro de la imagen del hospital, pues es una empresa sin fines de lucro.

En resumen, el costo semanal promedio actual calculado utilizando los costos unitarios mencionados, la cantidad de pedidos realizados por semana, el inventario promedio y los faltantes en una semana, se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Costos actuales semanales del manejo de Ceftriaxona

Costo semanal 2015	
Costo de fijo de pedido	0.9
Costo de mantener inventario	2.6
Costo de faltantes	0.0

2.4 Diseño de mejoras

2.4.1 Modelo matemático para predecir las ventas semanales del antibiótico Ceftriaxona.

Para escoger un modelo de pronóstico adecuado, se utilizó la gráfica de la Figura 2-5 para observar la curva de demanda de Ceftriaxona y determinar el

comportamiento de dicha variable en diferentes periodos. Las formas de dichas curvas indican que hay una demanda con estacionalidad.

Justificación del modelo:

En vista de que la curva de demanda de Ceftriaxona es una demanda con estacionalidad, pero sin tendencia, se descartaron los modelos de series de tiempo y se determinó la necesidad de un modelo causal. Se identificaron las causas del comportamiento de la demanda y por ser tanto de tipo cualitativas como cuantitativas, se escogió un modelo de regresión lineal debido que en el análisis de regresión lineal hay una relación entre variable dependiente y una o más variable independientes.

Presentación del modelo:

Para encontrar la ecuación de la regresión, se establecieron todos los factores de potencial influencia en el comportamiento de la variable de respuesta “*y= demanda semanal Ceftriaxona*”. Se pronosticó dicha demanda para el periodo de una semana por ser este el tiempo de reposición del único proveedor que el hospital maneja. Luego se colocaron los datos históricos de cada uno de los factores, como cantidades para los cuantitativos y como códigos para los cualitativos, y se los evaluó utilizando Excel. El resultado de este análisis fue una tabla ANOVA donde se presentó el intervalo para cada factor. Aquellos factores que contenían el cero en dicho intervalo fueron descartados de la regresión final que se muestra en la ecuación (2.2).

$$Y=a+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_3+b_4X_4\dots\dots b_nX_n \quad (2.2)$$

Donde,

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ son los factores que si influyeron en el pronóstico.

Los supuestos del modelo de regresión lineal son que los errores sean homogéneos y se aproximen a una distribución normal.

Prueba y ajuste del modelo:

Para evaluar el modelo aplicado, se utilizó la ecuación final para pronosticar los datos de la demanda de Ceftriaxona. Los datos generados para un periodo se evaluaron contra la información real para el mismo tiempo. Los indicadores utilizados para determinar si el modelo fue válido o no, fueron el coeficiente de determinación R^2 resultante de la tabla ANOVA y la señal de seguimiento calculada con la fórmula de la ecuación (2.3)

$$TS = \frac{\sum_1^n (A_t - F_t)}{\frac{1}{n} \sum_1^n |A_t - F_t|} \quad (2.3)$$

Donde,

A_t = demanda real para el periodo t

F_t = demanda pronosticada para el periodo t

2.4.2 Modelo matemático para gestionar las compras del antibiótico Ceftriaxona.

Para seleccionar el modelo de inventarios adecuado, primero se determinó si la demanda era probabilística o determinística utilizando el coeficiente de variación, calculado con la ecuación (2.1) en el proceso previo de recopilación de información de la demanda de la Ceftriaxona. Se determinó la clasificación A B C de los productos del hospital según las cantidades demandadas registradas en el kardex del hospital. Con las mismas cantidades se determinó si la Ceftriaxona tenía un rápido o lento movimiento. Dependiendo de los resultados anteriores se escogió la política adecuada según la Tabla 3 que es una guía para escoger una política.

Tabla 3. Cuadro de relación entre políticas y tipos de producto

Tipo de Producto	Movimiento	
	Rápido ($D_L > 10$)	Lento ($D_L < 10$)
A	Revisión continua	Revisión continua
B	Revisión continua	Revisión periódica
C	Revisión periódica	Revisión periódica

Justificación del modelo:

La política ganadora fue de Revisión continua por que la demanda ocurre a una tasa constante y es posible aproximar los datos del pronóstico a una distribución normal. Además, se cumplen las siguientes premisas para el modelo: costo de pedido fijo e independiente de la cantidad ordenada, no se aceptan faltantes en el inventario, el tiempo de entrega de un pedido por parte del proveedor es constante.

Presentación del modelo

Para el modelo de inventario escogido, en este caso el de revisión continua EOQ, fue necesario estimar los costos del manejo de inventario como se detalló en la sección 2.3. Utilizando dichos costos se calcularon los parámetros de la política a implementar con las ecuaciones (1.5) para la cantidad óptima de pedido Q , y (1.9) para el punto de reorden (pro), es decir cuánto y cuándo pedir.

Prueba y ajuste del modelo

Con la finalidad de garantizar una política que reduzca el costo total de mantener inventario, se evaluó la política propuesta mediante una simulación de la demanda del antibiótico Ceftriaxona. Utilizando la distribución aproximada hallada para la demanda del producto, se generaron datos aleatorios de demandas diarias en Excel. En esta plantilla de Excel, se observaron los días que se alcanzaba el punto de reorden y se colocaba un pedido dicho día, luego se

registraba el momento de llegada del pedido y se aumentaba nuevamente el nivel de existencias. Finalmente se calcularon los costos de manejo de inventario utilizando el inventario promedio, las unidades faltantes y el inventario de seguridad resultante de la simulación.

El indicador utilizado fue la diferencia porcentual entre los costos de la política sugerida y la política mantenida por el hospital.

2.5 Control y Actualización

La diagramación de los procesos que se llevan a cabo dentro de la farmacia del HLB para el manejo del antibiótico Ceftriaxona, que se deben seguir de manera estandarizada se encuentran en el APÉNDICE A.

Para el control de la política fue necesario desarrollar una guía visual para facilitar la implementación de la política. Además, se elaboraron dos guías como apéndices para actualizar el modelo de pronóstico y la política de inventario.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1 Modelo de predicción de ventas

Desarrollo de la ecuación de regresión lineal para el pronóstico

Para realizar el pronóstico de la demanda, se tomaron los movimientos semanales de Ceftriaxona desde enero de 2014 hasta octubre del 2015.

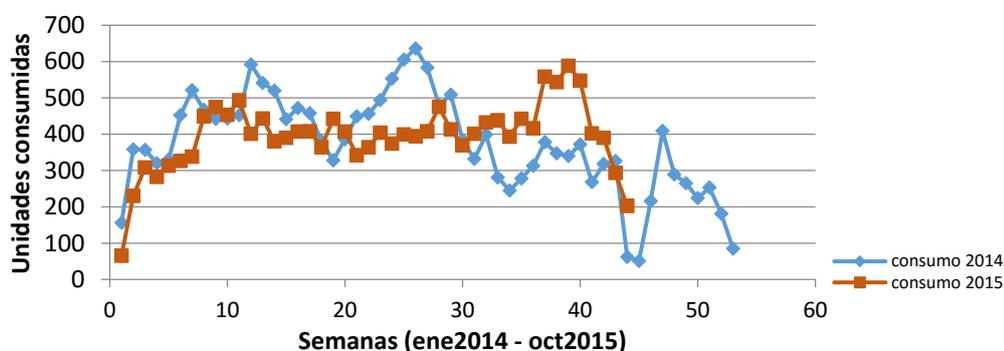


Figura 3-1. Consumo semanal de Ceftriaxona

En la Figura 3-1 se comparó el comportamiento de la demanda en el año 2014 y 2015, y se observó que las curvas tienen las mismas tendencias de crecimiento o decrecimiento ciertas épocas del año. Por lo tanto, para la selección del modelo de pronóstico se optó por una combinación de series de tiempo junto con factores causales subjetivos, dentro de una regresión lineal.

En base a la información cuantificable de la base de datos y la experiencia de profesionales como Dr. Roberto Mena, Dra. Carolina Retamales y MSc. Jaime Macías, se consensuaron los posibles factores influyentes en el comportamiento de la demanda de Ceftriaxona. Entre los factores potenciales se encontraron variables cualitativas que se codificaron como variables “ficticias”, ya que no tienen un significado numérico, pero son de gran importancia para predecir la demanda de Ceftriaxona. Las variables cuantitativas, por el contrario, se cuantificaron según los datos de la base digital del hospital.

Los factores cualitativos y cuantitativos escritos como variables fueron:

X_1 “*Cantidad de pacientes diagnosticados con enfermedades tratadas con Ceftriaxona*”: Equivalente a la cantidad de pacientes diagnosticados con cuadros que necesitan suministro de Ceftriaxona en una semana.

La manera de obtener los datos de esta categoría fue filtrando de la base de datos, los nombres de los pacientes atendidos en cada semana de los años 2014 y 2015 que habían presentado cuadros o síntomas que se trataban con Ceftriaxona.

X_2 “*Promedio ponderado del consumo de Ceftriaxona*”: Este dato equivale a los datos históricos de la misma variable de respuesta que ese quiere modelar, para plasmar la idea principal de una serie de tiempos en la regresión lineal. La variable X_2 fue obtenida mediante la metodología de promedio móvil ponderado explicada en el capítulo 1. Para determinar el peso, la ponderación y la cantidad de periodos para la media móvil, se evaluaron 4 escenarios diferentes:

1. **Media móvil de 2 periodos:** Se promediaron los datos de dos semanas para predecir la demanda semanal.
2. **Media móvil de 3 periodos:** Se promediaron los datos de 3 semanas para predecir la demanda semanal.
3. **Media móvil ponderada con 0.1 y 0.9:** Se utilizó una media ponderada con un peso de 0.9 y 0.1.
4. **Media móvil ponderada con 0.1, 0.3 y 0.6:** Se utilizó una media ponderando los 3 últimos periodos con los pesos 0.1, 0.3 y 0.6.

Una vez calculados los pronósticos del consumo se calcularon los errores entre cada uno de los 4 escenarios y los datos reales de la base digital. Los resultados del indicador MAD (error cuadrático medio) mostrados en la Tabla 4, indican que el de menor error fue aquel que tenía una media móvil de $n=2$ y ponderación 0.9 y 0.1 para el último y penúltimo consumo semanal respectivamente

Tabla 4. Errores de los escenarios

Escenario	1	2	3	4
MAD	6486.33	7299.14	5067.06	5751.15

X₃ “Cantidad de pacientes consumiendo Ceftriaxona”: La manera de obtener los datos de esta categoría fue filtrando de la base de datos, los nombres de los pacientes atendidos en cada semana de los años 2014 y 2015 que habían adquirido Ceftriaxona.

X₄ “Cantidad de pacientes hospitalizados”: Cantidad de pacientes que estuvieron hospitalizados según lo que se contabilizó de los registros del hospital.

X₅ “Brote de enfermedades”: La variable se codificó con 1 = si es temporada de enfermedades y 0 = no es temporada. Las épocas fueron determinadas por la experiencia del Dr. Mena clasificando cada mes del año que resultó en

X₆ “Temporada”: la temporada para consumo de la medicina se codificó como: 2 = alta, 1 = media, 0 = baja. Estos valores se atribuyeron a las semanas de cada año según lo que se comparó entre las mismas semanas de los años 2014 y 2015 en la Figura 3-1. Los meses de temporada alta fueron Febrero, Marzo, comienzos de Abril, finales de Mayo, Junio y Julio, los de temporada media fueron finales de Abril, comienzo de Mayo, Agosto, Septiembre, Octubre y Diciembre; y temporada baja fueron los meses de Noviembre y Enero.

X₇ “Feriados”: Los feriados se codificaron como 1 = si existe feriado, 0 = no existe feriado según el calendario que mantuvo el gobierno nacional de los feriados decretados.

X₈ “Cantidad de pacientes consumiendo sustitos de Ceftriaxona”: El consumo de medicinas sustitutas a la Ceftriaxona se calculó contabilizando de la base de datos, los nombres de los pacientes que consumieron cefotaxima, grifotraxiona y otros de la familia de las cefalosporinas desde enero del 2014 hasta la semana 44 del 2015 por ser esta toda la información existente hasta el momento de desarrollo de este documento.

Y “Consumo semanal de Ceftriaxona”: Esta variable de respuesta fue el pronóstico de la demanda semanal puesto que ese es el periodo de reaprovisionamiento.

Para la evaluación del modelo se utilizaron los datos desde la primera semana del 2014 hasta la semana 44 del 2015 para cada factor explicado, y se obtuvieron los resultados de la Tabla 4 y Tabla 5:

Tabla 5. Estadísticas de la regresión lineal

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.835879017
Coeficiente de determinación R^2	0.698693732
R^2 ajustado	0.688760558
Error típico	64.96469215
Observaciones	95

Tabla 6. Análisis de varianza de la regresión lineal

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	3	890583.90	296861.3	70.3	1.27E-23
Residuos	91	384057.42	4220.4		
Total	94	1274641.32			

El modelo tuvo un R^2 ajustado de 68.8%, por lo que se lo consideró como aceptable. El valor F fue mayor que el valor crítico de F, por lo tanto, al menos un factor de los estipulados era influyente.

Para hallar los factores relevantes se analizaron los límites superior e inferior de cada variable. Aquellos factores cuyos intervalos contuvieron el cero fueron descartados del modelo, estos fueron: X_1 "Cantidad de pacientes diagnosticados con enfermedades tratadas con Ceftriaxona", X_3 "Cantidad de pacientes consumiendo Ceftriaxona", X_4

“Cantidad de pacientes hospitalizados”, X_5 “Brote de enfermedades”, y X_8 “Cantidad de pacientes consumiendo sustitos de Ceftriaxona”

Los factores que resultaron relevantes fueron los presentados en la Tabla 6:

Tabla 7. Factores influyentes en la regresión

	<i>Coefficientes</i>
X_2 “Promedio ponderado del consumo de Ceftriaxona”	0.742523145
X_6 “Temporada”	37.7084438
X_7 “Feriados”	59.88147502

Consecuentemente, la ecuación para calcular el consumo semanal de Ceftriaxona fue:

$$Y=0.74X_2+37.7X_6+59.88X_7 \quad (3.1)$$

Donde,

X_2 : Promedio ponderado del consumo de Ceftriaxona

X_6 : Temporada

X_7 : Feriados

Simulación y evaluación de los resultados del pronóstico

Utilizando la ecuación establecida por el modelo, se pronosticó la demanda de Ceftriaxona desde enero hasta noviembre del 2015. Los datos de los factores que alimentaron el pronóstico y el resultado del mismo se encuentran en el APÉNDICE D.

Tal como se indicó en la metodología, se utilizaron los indicadores MAD, MAPE Y TS para evaluar el pronóstico. Los valores de los indicadores se muestran en la Tabla 7.

Tabla 8. Errores e indicadores del pronóstico

Error	Error Absoluto	MAD	MAPE	TS
75.51	75.51	63.48	0.38	1.19
-93.68	93.68	63.22	0.39	-1.48
-91.69	91.69	62.60	0.34	-1.46
-73.19	73.19	61.37	0.27	-1.19
178.78	178.78	61.95	2.98	2.89

Usualmente se considera como aceptable un rango de -4 , $+4$ para la señal de seguimiento y por lo tanto podemos concluir que la cantidad de desviaciones del pronóstico de esta ecuación, sobre o bajo la demanda real, fue aceptable. No obstante, se desarrolló a la par un modelo de **suavización con ajuste exponencial simple** para comprobar que la regresión fuese el modelo más apropiado según los valores del MAD mostrados en la Tabla 8. Probando diferentes factores de suavización se obtuvo que aquel que mantenía errores con menor MAD (desviación media absoluta) era el $\alpha = 0.9$.

Tabla 9. MAD de diferentes modelos

	Regresión	Suavización exponencial (0.9)
MAD	62	55

A pesar de que el MAD resultó mejor en la suavización, algunos valores del TS (Señal de seguimiento) del mismo se encontraban fuera del rango de aceptación $(-6,6)$. Por ser este último un indicador de efectividad con mayor relevancia, se escogió como mejor opción fue la **regresión lineal**.

Aprobado el modelo, se determinó el comportamiento de la variable Y : “Consumo semanal de Ceftriaxona”, utilizando los datos obtenidos del pronóstico para los años 2014 y 2015. El resumen realizado en la herramienta Minitab se muestra en la Figura 3-2.

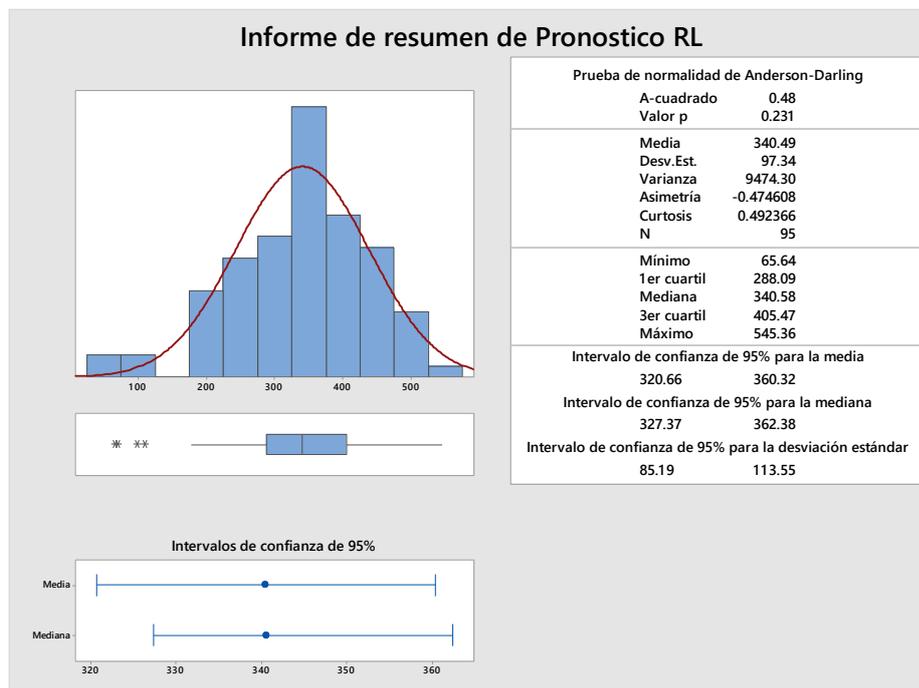


Figure 3-2. Resumen gráfico del pronóstico de Ceftriaxona

El valor p de prueba de normalidad mayor a 0.05 permitió indicar que la distribución de la demanda pronosticada se aproxima a una **Normal (340, 97.34²)**.

De la misma manera se analizaron los errores obtenidos de la diferencia entre el pronóstico y los datos reales de la demanda. El resumen grafico de dichos errores se presenta en la Figura 3-4.

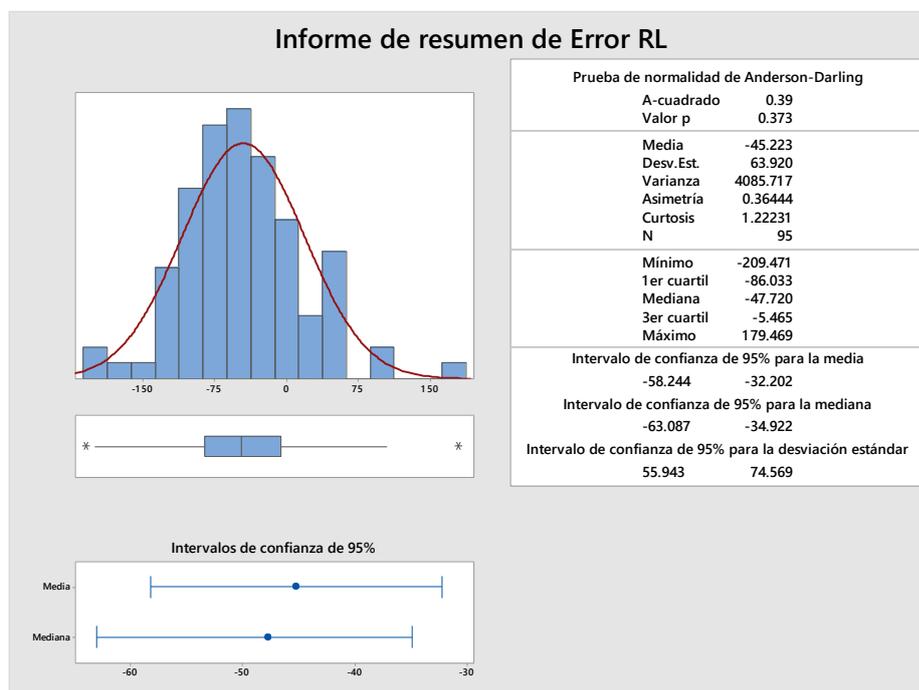


Figure 3-3. Comportamiento del error del pronóstico

De igual manera que la demanda y el consumo, la variable de los errores se comporta como una variable normal, **$N(-45.2, 63.9^2)$** . El interés por determinar si la demanda pronosticada y el error del pronóstico seguían una distribución Normal, nace de la necesidad de calcular el factor de seguridad z de la política de inventario que se establece a partir de la distribución de probabilidades que sigue la demanda.

Los datos obtenidos del pronóstico como la media y desviación de la demanda pronosticada de Ceftriaxona, y los errores del mismo, fueron utilizados para el desarrollo del modelo de inventario.

3.2 Modelo de Inventario

Presentación de la política

El modelo de inventario propuesto fue un modelo **EOQ de revisión continua** por ser el más adecuado a la situación del hospital. Los valores necesarios para el cálculo de los parámetros de la política se presentan en la Tabla 9.

Tabla 10. Valores de costos y demandas

Demanda semanal pronosticada	D (uni)	340	
Costo semanal de mantener inventario	I (%)	0.0038%	20 % Anual
Costo adquisición	C (\$/uni)	1.27	
Costo de hacer pedido	s (\$)	0.81	
Desviación estándar errores	σ	63.9	
Costo de faltantes	k (\$/uni)	0.43	
Factor de Seguridad	z	2.287	

La Tabla 10 reúne los parámetros definidos para la política. Los valores se calcularon utilizando las ecuaciones de la sección 1.2.3. La columna “Cantidades reales” es equivalente a las cantidades aproximadas de la columna “Unidades” en términos de cajas de 10 unidades, debido a que el SKU del proveedor es de dicho tamaño.

Tabla 11. Resultados de la política de inventario (pro,Q)

		Unidades	Cantidades reales
Cantidad a pedir	Q (uni)	336	34 cajas
Punto de reorden	pro (uni)	486	48 cajas
Inventario de seguridad	ss (uni)	146	15 cajas

Simulación de la política

Los datos aleatorios, generados con la distribución hallada de la demanda, se utilizaron para implementar la política a través de una simulación en Excel. En una plantilla de Excel se colocaron junto a las demandas pronosticadas, las cantidades

pedidos y el momento en que llegan. El desarrollo y los datos de la simulación de la política para un periodo de 44 semanas se demuestra en la tabla APÉNDICE E.

Análisis y evaluación de resultados de la política

Para la evaluación de la política se calcularon los costos descritos en la metodología para las 44 semanas simuladas, obteniendo los valores descritos en la Tabla 11.

Tabla 12. Costos de la política de revisión continua

COSTOS TOTALES DE REVISION CONTINUA	
Costo de pedido	\$ 37.3
Costo de mantener inventario	\$ 74.4
Costo por faltantes	\$ 0
Inv promedio	346
Unidades faltantes	0
TOTAL	\$ 111.6

Si se compara dicho valor con el costo actual, presentado en la Tabla 2, se aprecia una mejora evidenciada con una disminución del 28% del costo total, tal como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 13. Comparación entre la situación actual y la política propuesta

Valores para un periodo de 44 semanas	SITUACIÓN ACTUAL	POLÍTICA PROPUESTA
Costo de pedido(\$)	40.50	37.3
Costo de mantener inventario (\$)	114.98	74.4
Costo por falta de existencias(\$)	0	0
COSTO TOTAL(\$)	155.48	111.6
INVENTARIO PROMEDIO (unidades)	535	346

Escenario

A pedido del cliente, quien deseaba la posibilidad de ordenar todos los antibióticos cada 2 semanas, se planteó un modelo de revisión periódica con periodo de revisión

$T= 2$ semanas. Los parámetros y resultados de la simulación de dicha política se encuentran en el APÉNDICE F.

Además, se presenta en la Tabla 13 a continuación, los costos de la revisión periódica para un periodo de 44 semanas.

Tabla 14. Costos de política de revisión periódica

COSTOS TOTALES DE REVISION PERIODICA	
Costo de pedido	\$ 17.8
Costo de mantener inventario	\$ 165.3
Costo por faltantes	\$ 0
Inv. promedio	769 .0
Unidades faltantes	0
TOTAL	\$ 183.10

Es evidente que el costo total es mayor al de la situación actual y al de la política de revisión continua, porque el hecho de hacer el pedido cada 2 semanas implica la necesidad de mantener niveles de inventario elevados que significan dinero y espacio desperdiciado.

La comparación entre la política propuesta por el HLB, la política propuesta por los autores de este documento y la situación actual se presentan en la Tabla 14.

Tabla 15. Comparación entre la situación actual, la política propuesta por autores y la política propuesta por HLB

	SITUACIÓN ACTUAL	POLÍTICA AUTORES	POLITICA HLB
Costo Total de 44 semanas	\$155.48	28% menos costoso	17.7 % más costoso
Inventario Promedio Semanal	535 unidades	35% menos inventario	43.7 % más inventario

3.3 Control y actualización

La política de inventario se implementó utilizando un sistema visual tipo Kanban. En dicho sistema se diseñó una gaveta con la capacidad del punto de reorden (486) de la política EOQ seleccionada.

El procedimiento mediante el cual funciona dicho sistema se explicó por medio de una lección de un punto ubicada en el APÉNDICE B como "Reabastecimiento de Ceftriaxona". En este procedimiento se colocaron todos los pasos necesarios para poder implementar la política propuesta por los autores de este documento.

La política propuesta funciona siempre y cuando los datos que alimenten dicha política estén actualizados. Para ello, se creó una hoja de cálculo en Excel llamada "Actualización de la Política", descrita en el APÉNDICE C que permitirá actualizar la política propuesta cada año. Los encargados del manejo de la medicina deberán insertar datos específicos en la hoja de cálculo y la política de inventario se actualizará de inmediato. Esta hoja de cálculo se debe llenar los primeros días de enero de cada año, con el fin de mantener la política con datos actualizados.

Para el correcto ingreso de datos en la hoja de Excel mencionada anteriormente, se creó un procedimiento llamado "Procedimiento para actualizar la política de inventario" que se encuentra en el APÉNDICE C. Con este procedimiento, los encargados podrán entender cómo funciona la hoja de cálculo "Actualización de la Política".

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Actualmente no existe un sistema formal de manejo de inventario en el HLB. El modo empírico de hacer pedidos y almacenar los insumos genera un exceso de inventario por lo que se debe implementar una política de inventario para mejorar su desempeño.
2. Es importante conocer el comportamiento de las demandas de los insumos y antibióticos de un hospital para estar siempre abastecidos y poder satisfacer los pedidos de los clientes, brindando confianza y excelente servicio.
3. El modelo de pronóstico adecuado para la demanda de la Ceftriaxona fue una regresión lineal igual a $Y=0.74X_2+37.7X_6+37.7X_7$, donde X_2 : Consumo promedio ponderado, X_6 : Temporada y X_7 : Feriado.
4. La política de inventario ideal para el manejo de Ceftriaxona del HLB fue la de revisión continua EOQ con una cantidad fija de pedido de 336 unidades de Ceftriaxona y punto de reorden de 486 unidades.
5. A través de una simulación se verificó que la política EOQ propuesta permite reducir el inventario mantenido en farmacia en 35%. A su vez resulta más económico que el modelo actual, generando un ahorro de aproximadamente 28% para un periodo de 44 semanas.
6. La política de inventario EOQ es ajustable no solo para el manejo de la Ceftriaxona sino cualquier otro antibiótico o insumo dentro del hospital ya que es capaz de soportar la variabilidad de la demanda.

Recomendaciones

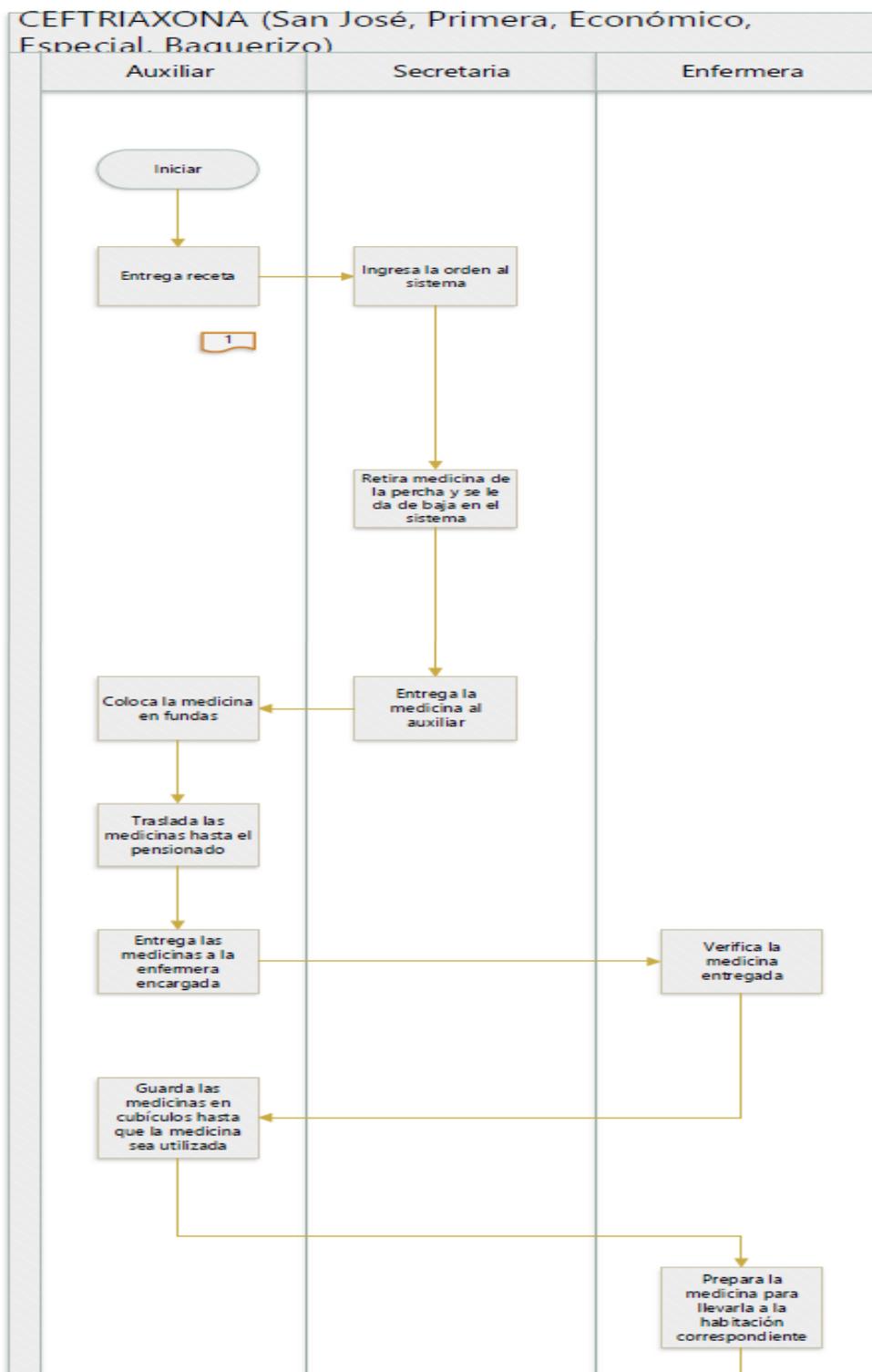
1. Revisar anualmente el modelo de pronóstico y los factores del mismo, para validar la información existente o corregir en base a los cambios que se hayan dado en dicho periodo de evaluación.
2. Explicar y capacitar al usuario encargado de ejecutar la política para evitar confusiones.
3. Actualizar la política de inventario en caso de presentarse cambios en el consumo de Ceftriaxona, en los costos asociados al manejo de inventario de dicho antibiótico o una modificación en el tiempo de reaprovisionamiento.
4. Es imprescindible que el grupo de trabajo descrito en la sección 2.2 esté al tanto de la política de manejo de inventario establecida, para colaborar con el cumplimiento de la misma.

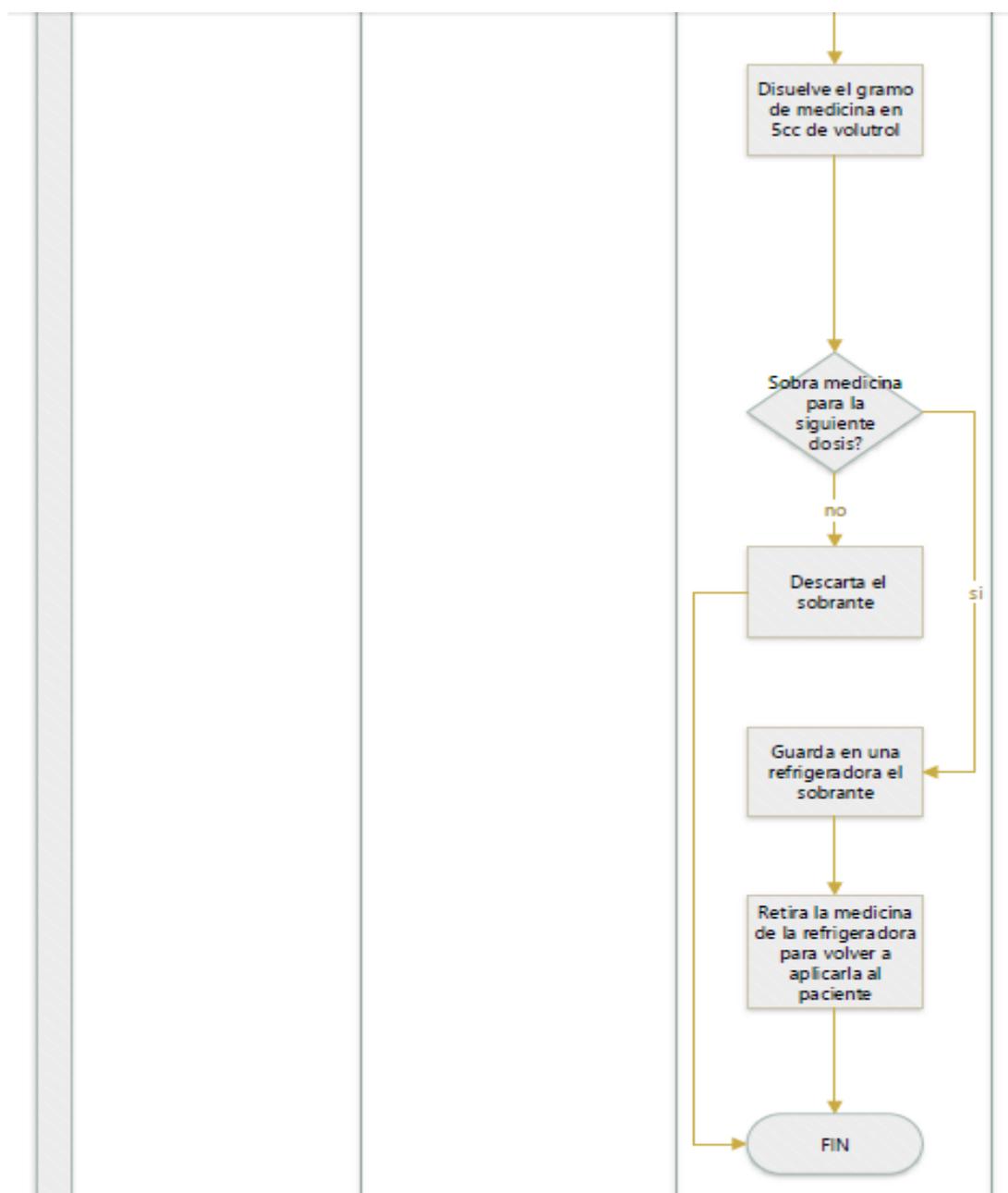
BIBLIOGRAFÍA

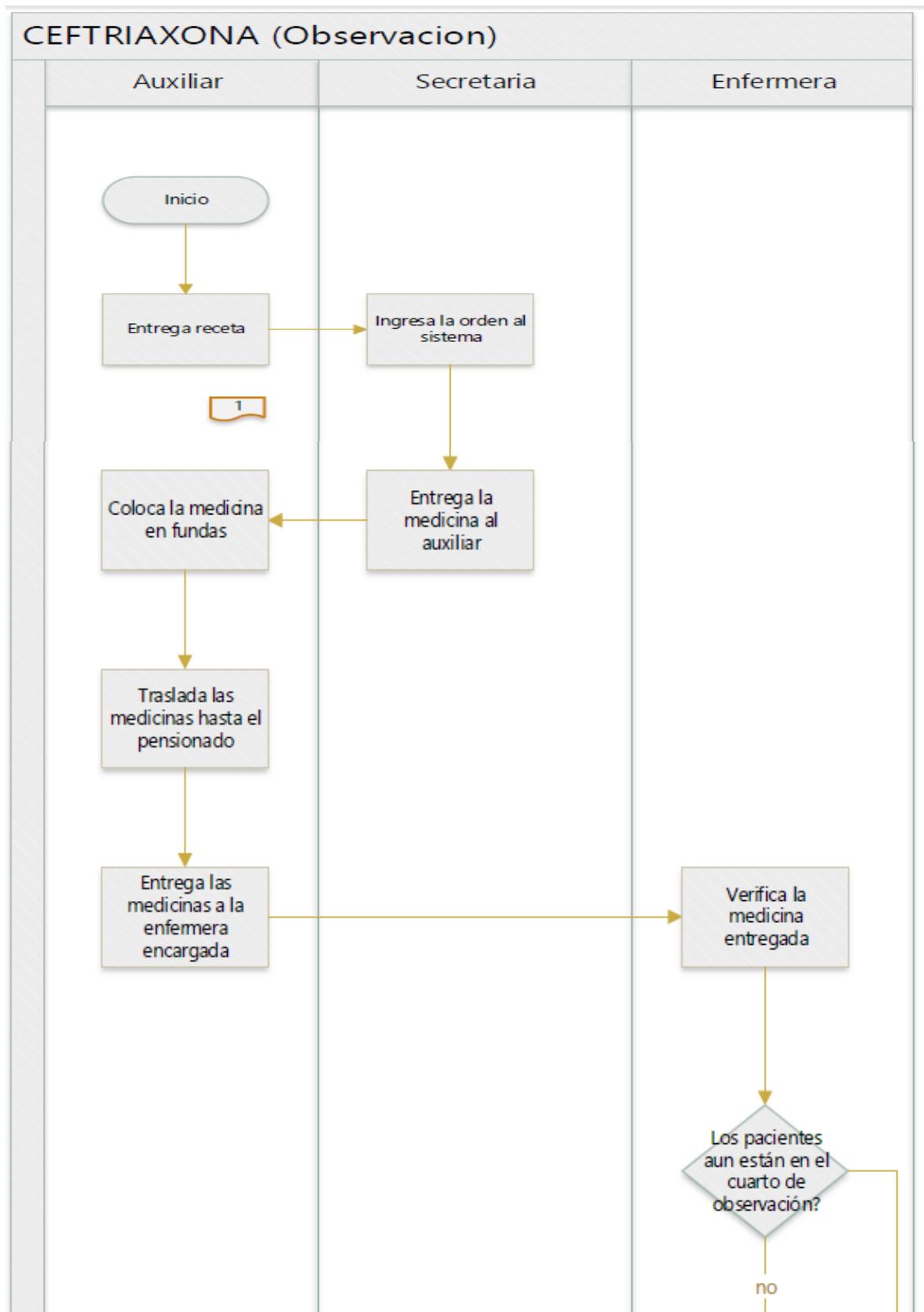
- [1] Ballou, R. H. and Barraza, C. M. (2004) Logística: Administración de la Cadena de Suministro, 5th edn. Naucalpan de Juarez, Estado de México: Pearson Educación
- [2] Silver, E. A., Pyke, D.F. and Peterson, R. (1998) Decision Systems for Inventory Management and Production Planning, 3rd edn. New York: John Wiley and Sons (WIE)
- [3] Lcdo. Antonio Serbinio. "Excedente de Inventario, obsoleto y escasez", en Seminario de inventarios, ciudad de Panamá, Panamá, 2013.
- [4] Chopra, S and Meindl, P. (2000) Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operations. United Kingdom: Pearson Prentice Hall.
- [5] Catedra de Farmacología, Facultad de Medicina - UNT. (2000). Antibióticos [Online]. Disponible en: http://www.losmicrobios.com.ar/microbios/?page_id=1186

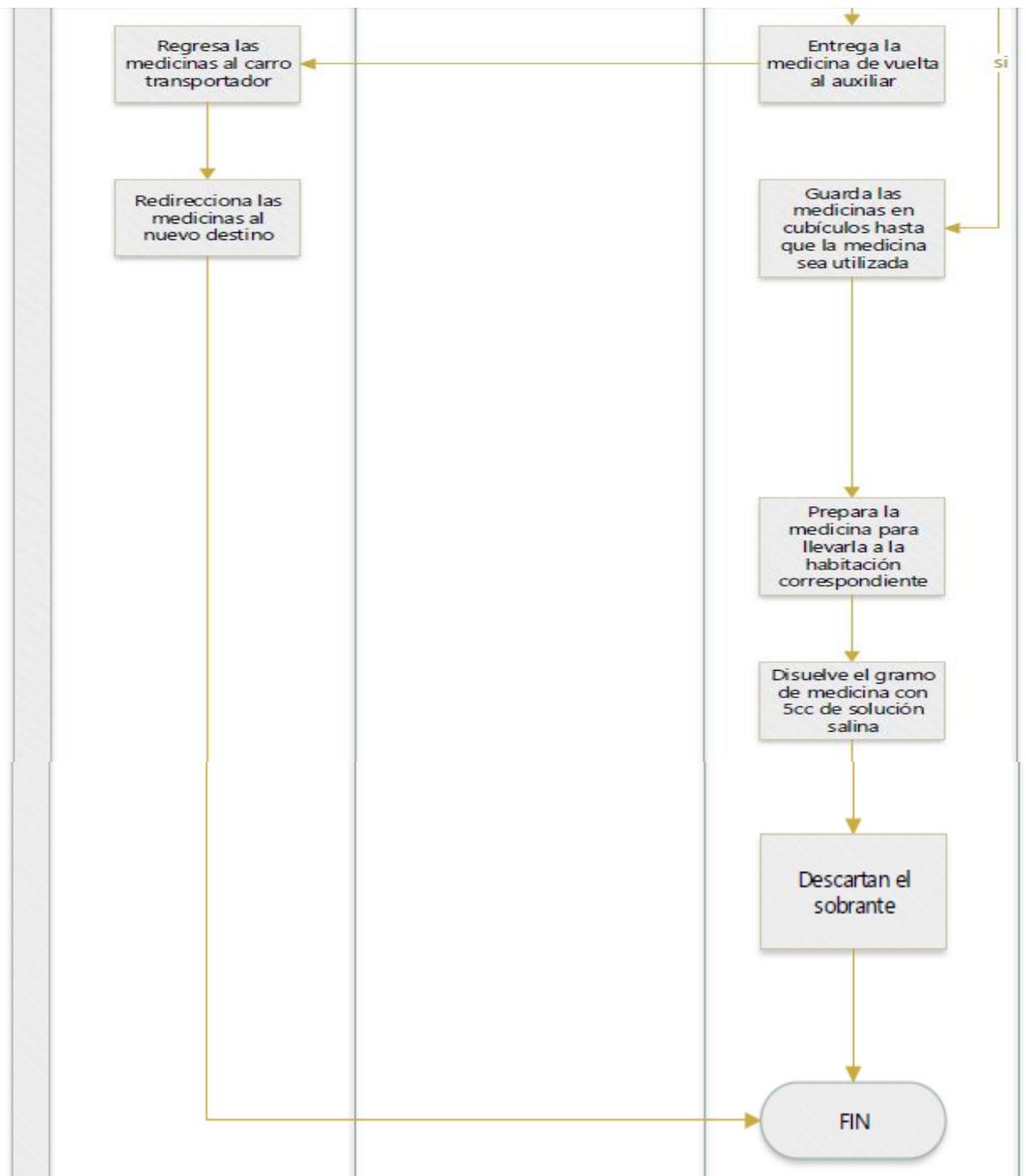
APÉNDICE A

Procedimiento Post-despacho de Ceftriaxona para hospitalizados









APÉNDICE B

Lección de 1 punto “Reabastecimiento de Ceftriaxona” Toda la Ceftriaxona de la farmacia esta únicamente en dos niveles de una percha. En el primero estará la Ceftriaxona, y en el segundo estará la caja con dimensiones igual al punto de reorden.

<p>Paso 1. Satisfaga los pedidos de clientes con la medicina que se encuentra en el primer nivel de la percha.</p> 	<p>Paso 2. Una vez que el primer nivel de la percha este vacío y solo quede medicina dentro de la caja, hacer un pedido de 336 unidades (33 cajitas).</p> 
<p>Paso 3. Colocar la tarjeta en el lado <u>rojo</u></p> 	<p>Paso 4. Abastecer los pedidos de los clientes con la medicina que se encuentra dentro de la caja hasta que llegue el pedido anterior</p> 
<p>Paso 5. Una vez que llega el pedido, colocar lo remanente de la caja en el primer nivel y luego rellenar la misma con 486 unidades del pedido nuevo. Lo sobrante del pedido colocarlo en el primer nivel.</p> 	<p>Paso 6. Colocar el restante del pedido en las perchas, <u>colocar la tarjeta en el lado verde</u> y repita desde el paso 1.</p> 

Nota: Todos los días viernes revisar el nivel de inventario, y si quedan en la percha 100 Ceftriaxonas, hacer un pedido de 336 unidades. (Debido a que el sábado ni domingo atiende el proveedor).

APÉNDICE C

Procedimiento para actualizar la política de Inventario

- Empiece llenando desde la celda **C10** hasta la celda **C60** el consumo de Ceftriaxona de todas las semanas hasta las fechas que indica la columna **B**. El consumo debe ser en unidades, y el tiempo que se va a considerar es de lunes a domingo (incluido). Ayúdese con el kardex de la Ceftriaxona.

A manera de ejemplo, si la semana del lunes 11 de enero del 2016 hasta el domingo 17 de enero del 2016 se consumieron 250 ampollas de Ceftriaxona, colocar en la celda C10 el número 250. Este mismo procedimiento debe seguir hasta llenar toda la columna C.

	A	B	C	
1				COS
2				COST
3	PEDIDO (UNIDADES)	23,285166		COST
4	UNIDADES DENTRO DE CAJA	7,3601896		COST
5				PREC
6				MAR
7				
8				
9		HASTA LA FECHA	DEMANDA DE LA SEMANA	FACT
10		17/01/2016	250	
11		24/01/2016		
12		31/01/2016		
13		07/02/2016		
14		14/02/2016		

- Coloque en la celda **E12**, el valor correspondiente a la temporada en dicha fecha. Continúe llenando las celdas hasta la celda **E60**

Los valores que puede colocar son:

2 ----> Temporada Alta (mes en el que el consumo de Ceftriaxona alcanza su consumo más alto)

1 ----> Temporada Media (mes en el que el consumo de Ceftriaxona es alto)

0 ----> Temporada Baja (mes en el que el consumo de Ceftriaxona es bajo)

A manera de ejemplo, si la semana del lunes 25 de enero de 2016 hasta el domingo 31 de enero de 2016 es considerada una semana de temporada alta para el consumo de Ceftriaxona, colocar en la celda E12 el número 2. Este mismo procedimiento debe seguir hasta llenar toda la columna E.

	A	B	C	D	E
1				COSTOS ASOCIADOS	
2				COSTO DE MANTENER (%)	0,00095
3	PEDIDO (UNIDADES)	46,526436		COSTO DE PEDIDO(\$)	0,81
4	UNIDADES DENTRO DE CAJA	29,385284		COSTO DE ADQUISICIÓN (\$)	1,27
5				PRECIO DE VENTA (\$)	1,91
6				MARGEN DE UTILIDAD (\$)	0,64
7					
8					
9		HASTA LA FECHA	DEMANDA DE LA SEMANA	FACTOR 1	FACTOR 2
10		17/01/2016	0		
11		24/01/2016			
12		31/01/2016		0	2
13		07/02/2016		0	
14		14/02/2016		0	

3. Coloque en la celda **F12**, el valor correspondiente al feriado. Continúe llenando las celdas hasta la celda **F60**.

Si la semana que se indica tuvo un feriado, coloque 1 en la celda. Si no lo tuvo, coloque 0.

A manera de ejemplo, la semana del lunes 25 de enero de 2016 hasta el domingo 31 de enero de 2016 no posee un feriado, entonces debe colocar en la celda F12 el número 0. Este mismo procedimiento debe seguir hasta llenar toda la columna F.

	A	B	C	D	E	F
1				COSTOS ASOCIADOS		
2				COSTO DE MANTENER (%)	0,00095	
3	PEDIDO (UNIDADES)	0		COSTO DE PEDIDO(\$)	0,81	
4	UNIDADES DENTRO DE CAJA	0		COSTO DE ADQUISICIÓN (\$)	1,27	
5				PRECIO DE VENTA (\$)	1,91	
6				MARGEN DE UTILIDAD (\$)	0,64	
7						
8						
9		HASTA LA FECHA	DEMANDA DE LA SEMANA	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
10		17/01/2016	0			
11		24/01/2016				
12		31/01/2016		0		0
13		07/02/2016		0		
14		14/02/2016		0		

4. Coloque el **costo actual al que se compra** la Ceftriaxona en la celda **E4**.

5. Coloque el **precio de venta al público actual** de la Ceftriaxona en la celda **E5**.

6. Cada vez que **haga un pedido** lo debe realizar del valor que indica la **celda B3**.

Reconstruya la caja proporcionada, para que dicha caja sea capaz de contener el valor de la **celda B4**

APÉNDICE D

Simulación del pronóstico de regresión lineal propuesto

Semana	Consumo Promedio Ponderado	Temporada	Feridos	Demanda Actual	Demanda Pronosticada
52	250	1	0	181	
53	188	1	0	85	
1	95	0	0	65	70
2	67	0	1	230	110
3	214	0	1	308	218
4	300	0	0	282	223
5	285	0	0	313	211
6	310	2	0	326	306
7	325	2	0	338	317
8	337	2	1	449	385
9	438	2	1	474	460
10	472	2	0	453	426
11	455	2	0	493	413
12	489	2	0	401	439
13	410	2	0	443	380
14	439	2	0	380	401
15	386	1	0	390	325
16	389	1	0	407	327
17	405	1	0	408	339
18	408	1	0	364	341
19	368	2	0	442	349
20	434	2	0	407	398
21	411	2	0	342	380
22	349	2	0	364	334
23	362	2	0	404	344
24	400	2	0	374	372
25	377	2	0	399	355
26	397	2	0	394	370
27	395	1	0	408	331
28	407	1	0	475	340
29	468	1	0	413	385
30	419	1	0	369	349
31	373	1	0	401	315
32	398	1	0	432	333
33	429	1	0	438	356
34	437	1	0	393	362
35	398	1	0	442	333
36	437	1	0	416	362
37	419	1	0	558	349
38	544	1	0	543	441
39	545	1	0	588	442
40	584	1	0	547	471
41	551	1	1	402	507
42	417	1	0	390	347
43	391	1	0	293	328
44	303	1	0	202	262
45	211	0	2	201	277
46	201	0	0	243	149
47	239	0	0	269	177
48	266	0	0	271	198
49	271	1	0	60	239

Debido a que se utilizó una media móvil ponderada con 2 periodos, la tabla inicia desde la semana 52 del año anterior (2014) y muestra la demanda que el pronóstico hubiese predicho para el mismo año. De la fila 45 en adelante se encuentra la demanda de noviembre que se conoció posterior al desarrollo de la regresión lineal y sirvió para evaluar el modelo.

APÉNDICE E

Simulación de la política EOQ (486,336)

	Días	Demanda Diaria 2015	Inv Inicial	Inv Final	pedido	Llegan	Inv. Prom
	1	55	600	545		0	573
	2	33	545	512		0	529
	3	69	512	443	336	0	478
	4	41	443	402		0	423
	5	30	402	372		0	387
	6	46	372	326		0	349
semana1	7	39	326	287		0	306
	8	46	287	241		0	264
	9	65	241	512		336	376
	10	49	512	463	336	0	488
	11	56	463	407		0	435
	12	39	407	369		0	388
	13	63	369	306		0	337
semana 2	14	61	306	245		0	275
	15	40	245	205		0	225
	16	51	205	490		336	347
	17	52	490	438	336	0	464
	18	56	438	382		0	410
	19	63	382	319		0	351
	20	50	319	269		0	294
semana3	21	60	269	209		0	239
	22	50	209	159		0	184
	23	33	159	462	336	336	310
	24	55	462	407		0	434
	25	62	407	345		0	376
	26	52	345	293		0	319
	27	28	293	265		0	279
semana4	28	58	265	207		0	236
	29	46	207	161		0	184
	30	46	161	451	336	336	306
	31	57	451	394		0	422
	32	53	394	341		0	367
	33	60	341	281		0	311
	34	59	281	222		0	251
semana5	35	36	222	186		0	204
	36	69	186	453	336	336	319
	37	65	453	388			420
	38	51	388	337		0	362
	39	74	337	263			300
	40	54	263	209			236
	41	54	209	155		0	182
semana6	42	36	155	454	336	336	305
	43	96	454	358		0	406
	44	27	358	331			345
	45	50	331	281			306
	46	49	281	232		0	257
	47	33	232	199		0	216
	48	21	199	514		336	357
semana7	49	55	514	459	336		487
	50	27	459	432		0	446
	51	65	432	367		0	400
	52	59	367	308		0	338
	53	47	308	261		0	285
	54	46	261	215		0	238
	55	60	215	491		336	353
semana8	56	53	491	438	336		464
	57	49	438	388		0	413
	58	45	388	343		0	366
	59	43	343	301		0	322
	60	46	301	255		0	278
	61	31	255	224			239
	62	44	224	180		0	202
semana9	63	45	180	471	336	336	326

	Días	Demanda Diaria 2015	Inv Inicial	Inv Final	pedido	Llegan	Inv. Prom
	64	48	471	423		0	447
	65	44	423	379		0	401
	66	28	379	351		0	365
	67	36	351	316		0	333
	68	48	316	268		0	292
	69	73	268	531		336	399
semana10	70	44	531	487			509
	71	41	487	445	336	0	466
	72	38	445	407		0	426
	73	43	407	364		0	385
	74	84	364	280		0	322
	75	27	280	252		0	266
	76	70	252	182		0	217
semana11	77	51	182	467	336	336	325
	78	40	467	427		0	447
	79	42	427	386		0	407
	80	57	386	329		0	357
	81	48	329	281		0	305
	82	45	281	236		0	259
	83	44	236	528		336	382
semana12	84	33	528	495		0	512
	85	57	495	438	336	0	467
	86	34	438	404		0	421
	87	52	404	352		0	378
	88	40	352	312		0	332
	89	54	312	258		0	285
	90	38	258	220		0	239
semana13	91	34	220	522		336	371
	92	41	522	481	336		502
	93	40	481	441			461
	94	50	441	391		0	416
	95	46	391	345		0	368
	96	43	345	302		0	323
	97	41	302	261		0	282
semana14	98	67	261	530		336	396
	99	64	530	467	336	0	498
	100	59	467	408		0	437
	101	41	408	367		0	387
	102	41	367	326		0	347
	103	61	326	265		0	296
	104	31	265	234		0	250
semana15	105	37	234	533		336	384
	106	58	533	476	336	0	505
	107	64	476	412		0	444
	108	27	412	385		0	398
	109	62	385	323		0	354
	110	62	323	262		0	292
	111	54	262	207		0	234
semana16	112	50	207	493		336	350
	113	36	493	457	336	0	475
	114	75	457	382		0	419
	115	67	382	315		0	348
	116	49	315	266			291
	117	74	266	192		0	229
	118	48	192	144		0	168
semana17	119	30	144	450	336	336	297
	120	51	450	399		0	425
	121	50	399	349		0	374
	122	59	349	290		0	320
	123	33	290	257		0	274
	124	66	257	191		0	224
	125	51	191	476	336	336	334
semana18	126	55	476	421		0	448
	127	38	421	383		0	402
	128	68	383	315		0	349
	129	43	315	272		0	294
	130	56	272	216			244
	131	55	216	498		336	357
	132	56	498	442	336	0	470
semana19	133	62	442	380		0	411

	Días	Demanda Diaria 2015	Inv Inicial	Inv Final	pedido	Llegan	Inv. Prom
	134	35	380	345		0	363
	135	70	345	276		0	311
	136	51	276	224		0	250
	137	58	224	167		0	196
	138	53	167	450	336	336	308
	139	52	450	399		0	424
semana20	140	41	399	358		0	378
	141	59	358	299		0	328
	142	50	299	248		0	274
	143	33	248	215		0	232
	144	52	215	499		336	357
	145	75	499	425	336	0	462
	146	46	425	379		0	402
semana21	147	59	379	319		0	349
	148	50	319	269		0	294
	149	33	269	236		0	253
	150	50	236	186		0	211
	151	58	186	464	336	336	325
	152	53	464	411		0	437
	153	40	411	371		0	391
semana22	154	63	371	308		0	339
	155	50	308	258		0	283
	156	38	258	220		0	239
	157	39	220	517		336	369
	158	58	517	460	336		488
	159	60	460	400			430
	160	76	400	324		0	362
semana23	161	69	324	254		0	289
	162	75	254	180		0	217
	163	57	180	122		0	151
	164	52	122	406	336	336	264
	165	48	406	358		0	382
	166	67	358	291			324
	167	62	291	229		0	260
semana24	168	49	229	179		0	204
	169	36	179	143		0	161
	170	44	143	434	336	336	289
	171	57	434	377		0	406
	172	56	377	321			349
	173	75	321	246		0	284
	174	70	246	176		0	211
semana25	175	74	176	103		0	140
	176	52	103	387	336	336	245
	177	75	387	311		0	349
	178	44	311	267		0	289
	179	49	267	218			242
	180	43	218	175		0	196
	181	40	175	135		0	155
semana26	182	43	135	428	336	336	282
	183	67	428	362		0	395
	184	56	362	306		0	334
	185	47	306	260		0	283
	186	39	260	220		0	240
	187	40	220	180		0	200
	188	47	180	469	336	336	325
semana27	189	38	469	431		0	450
	190	22	431	409		0	420
	191	62	409	347		0	378
	192	42	347	306		0	327
	193	53	306	253		0	279
	194	61	253	527		336	390
	195	48	527	479	336	0	503
semana28	196	33	479	446		0	463
	197	45	446	401		0	424
	198	46	401	355		0	378
	199	59	355	296		0	326
	200	39	296	257		0	277
	201	49	257	544		336	401
	202	52	544	492		0	518
semana29	203	55	492	437	336	0	464

	Días	Demanda Diaria 2015	Inv Inicial	Inv Final	pedido	Llegan	Inv. Prom
	204	46	437	390		0	414
	205	38	390	352		0	371
	206	53	352	300		0	326
	207	39	300	261		0	280
	208	48	261	213		0	237
	209	30	213	519		336	366
semana30	210	39	519	481	336	0	500
	211	61	481	419		0	450
	212	51	419	369		0	394
	213	63	369	306		0	337
	214	64	306	242		0	274
	215	48	242	194		0	218
	216	48	194	482	336	336	338
semana31	217	40	482	442		0	462
	218	43	442	399		0	420
	219	62	399	336		0	367
	220	84	336	252		0	294
	221	10	252	242		0	247
	222	46	242	532		336	387
	223	51	532	481	336	0	506
semana32	224	55	481	426		0	453
	225	39	426	388		0	407
	226	57	388	330		0	359
	227	56	330	274		0	302
	228	55	274	219		0	247
	229	65	219	490	336	336	355
	230	42	490	448		0	469
semana33	231	28	448	420		0	434
	232	57	420	363		0	391
	233	60	363	303		0	333
	234	40	303	263		0	283
	235	57	263	542		336	402
	236	55	542	486	336	0	514
	237	63	486	423		0	455
semana34	238	38	423	385		0	404
	239	54	385	332		0	359
	240	55	332	277		0	304
	241	47	277	230		0	253
	242	64	230	502		336	366
	243	41	502	461	336	0	482
	244	50	461	412		0	436
semana35	245	47	412	364		0	388
	246	78	364	286		0	325
	247	58	286	228		0	257
	248	60	228	169		0	198
	249	26	169	478	336	336	324
	250	55	478	423		0	451
	251	37	423	386		0	405
semana36	252	57	386	329		0	358
	253	42	329	288		0	308
	254	60	288	228		0	258
	255	58	228	505		336	367
	256	51	505	455	336	0	480
	257	22	455	432		0	444
	258	49	432	384		0	408
semana37	259	47	384	337		0	360
	260	67	337	270		0	303
	261	58	270	211		0	241
	262	48	211	499		336	355
	263	42	499	457	336	0	478
	264	41	457	416		0	437
	265	46	416	370		0	393
semana38	266	66	370	304		0	337
	267	27	304	277		0	290
	268	46	277	230		0	253
	269	37	230	530		336	380
	270	62	530	468	336	0	499
	271	52	468	416		0	442
	272	69	416	347		0	382
semana39	273	33	347	314		0	331

	Días	Demanda Diaria 2015	Inv Inicial	Inv Final	pedido	Llegan	Inv. Prom
	274	60	314	255		0	285
	275	43	255	212		0	233
	276	26	212	522		336	367
	277	42	522	480	336	0	501
	278	64	480	416			448
	279	38	416	379		0	397
semana40	280	34	379	344		0	361
	281	55	344	290		0	317
	282	66	290	224		0	257
	283	31	224	529		336	377
	284	38	529	491		0	510
	285	57	491	434	336	0	463
	286	42	434	392		0	413
semana41	287	49	392	344		0	368
	288	48	344	296		0	320
	289	36	296	260		0	278
	290	50	260	210		0	235
	291	54	210	493		336	351
	292	51	493	442	336	0	467
	293	53	442	389		0	416
semana42	294	64	389	325		0	357
	295	49	325	276		0	301
	296	68	276	209		0	242
	297	62	209	146		0	177
	298	36	146	446	336	336	296
	299	53	446	393		0	420
	300	48	393	345		0	369
semana43	301	59	345	286		0	315
	302	58	286	228			257
	303	72	228	156			192
	304	46	156	110			133
	305	42	110	404	336	336	257
	306	56	404	348			376
	307	48	348	301			325
semana44	308	51	301	250			275

APÉNDICE F

Simulación de una política de revisión periódica ($T= 2$ semanas,
 $M=1350$)

Semana	Demanda semanal 2015	Inv Inicial	Inv Final	Pedido	Llegan	Inv promedio
1	555	1350	795			1073
2	307	795	488	862	0	642
3	323	488	1027		862	758
4	410	1027	618	732	0	823
5	397	618	953		732	786
6	470	953	483	867	0	718
7	302	483	1048		867	766
8	271	1048	777	573	0	912
9	483	777	867		573	822
10	450	867	417	933	0	642
11	381	417	969		933	693
12	268	969	701	649	0	835
13	359	701	991		649	846
14	231	991	760	590	0	875
15	424	760	926		590	843
16	369	926	556	794	0	741
17	338	556	1012		794	784
18	481	1012	531	819	0	772
19	498	531	852		819	692
20	463	852	389	961	0	621
21	396	389	954		961	671
22	504	954	450	900	0	702
23	276	450	1074		900	762
24	421	1074	653	697	0	863
25	444	653	906		697	779
26	510	906	396	954	0	651
27	377	396	973		954	685
28	354	973	619	731	0	796
29	344	619	1006		731	812
30	513	1006	492	858	0	749
31	249	492	1101		858	796
32	544	1101	557	793	0	829
33	397	557	953		793	755
34	495	953	458	892	0	706
35	685	458	665		892	562
36	407	665	258	1092	0	462
37	415	258	935		1092	596
38	280	935	654	696	0	794
39	354	654	996		696	825
40	193	996	803	547	0	900
41	438	803	912		547	858
42	245	912	666	684	0	789
43	240	666	1110		684	888
44	212	1110	898	452	0	1004

