

**MODELO DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE INVENTARIOS DE MEDICAMENTOS
Y MATERIALES MÉDICO-QUIRÚRGICOS DE LA CLÍNICA UNIVERSITARIA
BOLIVARIANA**

MARIA ISABEL RAMÍREZ DAZA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2013**

**MODELO DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE INVENTARIOS DE MEDICAMENTOS
Y MATERIALES MÉDICO-QUIRÚRGICOS DE LA CLÍNICA UNIVERSITARIA
BOLIVARIANA**

MARIA ISABEL RAMÍREZ DAZA

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniera Industrial

**Director
DIEGO LEÓN ZAPATA RUIZ
Ingeniero Industrial**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2013**

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

Firma
Nombre
Presidente del Jurado

Firma
Nombre
Presidente del Jurado

Firma
Nombre
Presidente del Jurado

Medellín, mayo de 2013

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, que con su apoyo y su cariño han sido fundamentales para la realización de mi carrera profesional. A Mateo, que en su compañía incondicional siempre creyó en mí y estuvo presente a lo largo de estos años.

A Diego Zapata, director de este trabajo de grado, por su colaboración y enseñanzas que permitieron finalizar con éxito este proyecto.

A los familiares, amigos, compañeros y profesores que también contribuyeron a mi proceso de formación.

CONTENIDO

GLOSARIO.....	1
RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
2. OBJETIVOS.....	8
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
3. ESTADO DEL ARTE.....	9
4. MARCO TEÓRICO.....	15
4.1. INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES (IO).....	15
4.2. OPTIMIZACIÓN.....	16
4.3. SISTEMA DE INVENTARIOS.....	17
4.3.1. Modelos de inventario determinísticos.....	20
4.3.2. Modelos de inventario probabilísticos.....	20
4.4. ALMACENAMIENTO DE MEDICAMENTOS.....	26
4.5. INVENTARIO FÍSICO.....	28
4.6. PRONÓSTICOS.....	28
4.6.1. Exploración de patrones de datos de series de tiempo.....	29
4.6.2. Exploración de patrones de datos con análisis de autocorrelación.....	30
4.6.3. Métodos causales.....	30
4.6.4. Métodos de series de tiempo.....	31
4.6.5. Medición del error del pronóstico.....	34
4.7. VISUAL BASIC PARA APLICACIONES (VBA).....	35
5. SISTEMAS DE INVENTARIOS DE LA CUB.....	37

5.1.	DIAGNÓSTICO DEL PROCESO ACTUAL DEL ALMACÉN	37
5.1.1.	Aprovisionamiento	40
5.1.2.	Servicio Farmacéutico	47
5.2.	CLASIFICACIÓN DE LOS INVENTARIOS SEGÚN FACTORES.....	50
5.3.	VARIABLES CRÍTICAS ASOCIADAS AL SISTEMA DE INVENTARIO	52
6.	MODELO DE OPTIMIZACIÓN.....	54
6.1.	TÉCNICA DE PRONÓSTICOS.....	55
6.2.	MODELO DE INVENTARIO	57
7.	APLICACIÓN Y VALIDACIÓN	59
8.	CONCLUSIONES	63
9.	RECOMENDACIONES.....	65
10.	BIBLIOGRAFÍA	66
	ANEXO 1. Instructivo para el uso de la aplicación diseñada.....	70
	ANEXO 2. Código de la macro diseñada	73

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Técnicas de pronósticos	32
Tabla 2. Clasificación de los dispositivos médicos	51
Tabla 3. Clasificación de los medicamentos de la CUB.	52
Tabla 4. Variables críticas de aprovisionamiento	53
Tabla 5. Variable críticas del Servicio Farmacéutico	53
Tabla 6. Comparación del consumo real con los pronósticos para septiembre y octubre de 2012	60
Tabla 7. Comparación del consumo real con los pronósticos para noviembre y diciembre de 2012	61
Tabla 8. Cálculo del error del pronóstico por distintos métodos	62

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Relación de los costos asociados a los inventarios.....	18
Figura 2. Probabilidad de que se agote la existencia, $Pz \geq K\alpha = \alpha$	22
Figura 3. Modelo probabilístico de inventario con faltante.....	23
Figura 4. Almacenamiento y faltante de inventario en modelo de un solo periodo	25
Figura 5. Gráfica de inventario para un modelo de revisión periódica con demanda probabilística	26
Figura 6. Proceso para elaboración de diagnóstico	37
Figura 7. Sistema de aprovisionamiento en la CUB.	40
Figura 8. Diagrama de flujo de las actividades realizadas por Aprovisionamiento y Servicio Farmacéutico.....	41
Figura 9. Base de datos de los consumos históricos de medicamentos y materiales médico-quirúrgicos de la CUB.	43
Figura 10. Extracción del cuadro de compras empleado en la clínica	45
Figura 11. Plano del almacén de la CUB.	48

GLOSARIO

INVENTARIO: existencias materiales (materia prima, productos en proceso, productos terminados) o inmateriales (información, energía) que se almacenan para ser consumidas en un futuro (Zapata, 2011)

INVENTARIO FÍSICO: es la cantidad de un artículo que se encuentra físicamente en un almacén, en determinado momento.

MACROS: herramienta que ayuda a automatizar tareas, son partes de código de programación interpretado con Excel, realizando tareas que pueden ser repetitivas.

MODELO MATEMÁTICO: son representaciones matemáticas de situaciones reales que se emplean para entender un situación real o para realizar una mejor toma de decisiones (Winston, 2005).

OPTIMIZACIÓN: es buscar la mejor manera de realizar una actividad o una tarea, empleando la menor cantidad de recursos posibles y logrando todos los objetivos propuestos.

PRONÓSTICO: es una predicción de acontecimiento futuros que se utilizan con propósitos de planificación (Krajewski, Ritzman, Malhotra, 2008).

SISTEMA: organización de componentes interdependientes, los cuales trabajan juntos para lograr un objetivo del sistema (Winston, 2005).

SISTEMA DE INFORMACIÓN: es un conjunto de elementos relacionados para recolectar, almacenar, manipular y diseminar datos e información, con el fin de emplearlo en un momento posterior para tomar decisiones, desempeñar una función o satisfacer una necesidad.

SISTEMA DE INVENTARIO: es un conjunto de actividades y métodos que busca definir cuánto se debe pedir y cuándo hacerlo, con el fin de minimizar la suma total de los costos asociados al inventario (costo de ordenar, costo de mantener y costo de pedir) (Taha, 2004).

STOCK: es la cantidad de mercancía que se tiene en un depósito o almacén (RAE), esta es una palabra proveniente del inglés que puede traducirse como inventario físico.

RESUMEN

Con el trabajo que se presenta a continuación se pretende mostrar una alternativa que optimice algunas de las actividades y procesos realizados desde el área de aprovisionamiento de la Clínica Universitaria Bolivariana (CUB), como lo es la planeación de las compras de medicamentos y materiales médico-quirúrgicos.

La propuesta está compuesta por una macro en MS Excel que automatiza el procedimiento de actualizar la base de datos históricos de consumos, un modelo de suavización exponencial simple para pronosticar la demanda futura y un sistema de inventario de revisión periódica que permite definir la cantidad óptima que debe pedirse cada periodo. Al final, se realiza la validación con el personal encargado de realizar estos procesos dentro de la clínica.

Palabras claves: aprovisionamiento, almacenamiento, sistema de inventario, optimización, pronóstico.

ABSTRACT

An alternative for the optimization of certain activities and processes, such as restocking of drugs and surgical supplies, carried out by the area in charge of provisions at the Clínica Universitaria Bolivariana (CUB), is presented in the following investigation.

The proposal comprises a Macro in MS Excel that automates the actualization process of historical consumption data, a model of simple exponential smoothing for the prediction of future demand and a periodic revision inventory that allows the definition of the optimum amount that must be ordered for each period. At the end, the validation is carried out with the personnel in charge of carrying out these processes within the clinic.

Key words: supplies, storage, inventory system, optimization, forecast.

INTRODUCCIÓN

La Clínica Universitaria Bolivariana es una institución que presta servicios de salud en todos los niveles de atención, especialmente en aquellos que son de mediana y alta complejidad. Su creación se da hace 15 años, para contribuir con los procesos de docencia e investigación de los profesionales y estudiantes de la salud de la Universidad Pontificia Bolivariana.

El servicio farmacéutico de la CUB, al igual que el de todas las organizaciones del sector salud, deben gestionarse de manera eficiente y eficaz, contando siempre con los recursos necesarios para prestar todos los servicios que se ofrecen, la falta de un medicamento o dispositivo médico puede afectar considerablemente el nivel de servicio e incluso poner en riesgo la vida de los pacientes. El servicio farmacéutico está directamente relacionado con el área de aprovisionamiento o compras, quien debe garantizar que se tienen siempre suficientes existencias para cubrir la demanda de la clínica, también se debe tener en cuenta que un exceso en el inventario de los mismos llevará a incurrir en mayores gastos.

La optimización es empleada para cambiar un proceso, una actividad o una tarea dentro de una organización buscando una mejor manera para realizarlos. El presente trabajo se enfoca en optimizar algunas actividades y procesos realizados por el área de aprovisionamiento, como lo es el proceso de planeación de las compras, considerado como uno de los más importantes dentro de cualquier organización.

Para elaborar la propuesta de solución expuesta en este documento, se realiza un diagnóstico que permite dar cuenta de la situación actual de la CUB, cómo funciona el abastecimiento de medicamentos y materiales médico-quirúrgicos y cómo se comporta la demanda o el consumo dentro de la institución. Posteriormente, se define un modelo de pronóstico de la demanda que se ajuste al patrón que tienen los datos para la diferentes referencias que se emplean en la clínica, éste a su vez sirve de insumo para la aplicación de un sistema de inventario que indique la cantidad óptima de cada producto que debe pedirse, sin necesidad de excederse en la compras pero controlando la posibilidad de faltantes.

Finalmente, se realiza la entrega de la herramienta propuesta a la persona encargada de la planeación en la clínica, quien con sus conocimientos y experiencia ayuda a validarla, estudiando la viabilidad, aplicación y pertinencia de la solución brindada.

Las conclusiones y recomendaciones son presentadas al final del documento, en estas se resume y evidencian los hallazgos relevantes y aquellos aspectos que deben considerarse en el corto plazo para continuar realizando cambios y mejoras en los procesos de las áreas de compras y servicio farmacéutico, con el fin de que la Clínica Universitaria Bolivariana siga prestando un excelente servicio con la integralidad de la atención y calidad humana.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La zona de almacenamiento puede ser determinante para llevar al éxito o al fracaso a una organización, esta es considerada el primer eslabón para lograr la satisfacción del cliente en la medida en que se tengan los productos necesarios, en el lugar indicado y al precio adecuado; además se encuentra ligada al inventario que tiene asociado una serie de variables como cantidad, demanda, sistema de codificación, la unidad de empaque, y unos costos que si no se manejan cuidadosamente, puede llevar a la organización a incurrir en altos sobrecostos que afecta su gestión general; todas estas variables permiten la formulación de un sistema que optimice el nivel del inventario, basándose en las condiciones internas y externas en que se desenvuelve la empresa.

Para el caso particular de una clínica donde se manejan muchas especialidades y se presta un gran número de servicios de salud, la cantidad de medicamentos, materiales médico-quirúrgicos y repuestos de equipos y máquinas que deben mantenerse almacenadas es elevada, es por esto que el adecuado manejo de los inventarios se verá reflejado en que se preste un buen servicio minimizando el riesgo de que la salud e incluso la vida de un paciente se vea afectada por faltantes en el almacén.

La Clínica Universitaria Bolivariana (CUB) tiene actualmente un almacén general de medicamentos y materiales médico-quirúrgicos el cual provee a 3 sub-almacenes ubicados en lugares estratégicos de la Clínica; el punto para reabastecer los sub-almacenes no es adecuado ya que no tiene en cuenta la demanda que tienen los productos o la existencia actual de los mismos, en el almacén general la problemática se centra en determinar la cantidad que debe pedirse para satisfacer la demanda que se genera mes a mes. La periodicidad con que se realiza la planeación de las compras es mensual y es una actividad tediosa pues se realiza manualmente.

Adicionalmente se encuentra otra problemática que corresponde al conteo de las existencias en los almacenes, que debido a la gran cantidad de referencias que se manejan se convierte en un trabajo muy tedioso y largo, realizándose, si mucho, una vez al año; este hecho ha generado una inconsistencia entre la cantidad física que está en los

almacenes y la información que se maneja desde contabilidad. Cabe resaltar que un inventario muy alto de medicamentos y materiales médico-quirúrgicos llevará a la Clínica a incurrir en sobrecostos y si por el contrario es muy bajo, puede reflejarse en un mal servicio que afectará la salud de los pacientes.

Por lo planteado anteriormente, se resuelve realizar un modelo que permita determinar cuánto debe pedirse de cada referencia mensualmente para abastecer tanto el almacén general como los sub-almacenes de la CUB, de modo que se cuente con una cantidad óptima de medicamentos y materiales médico-quirúrgicos a pedir que permita suplir todas las necesidades de los pacientes, sin llegar a incurrir en mayores costos relacionados con el almacenamiento y con la cantidad de pedidos que se hagan en determinado tiempo.

Se definirá un modelo de optimización que logre solucionar las problemáticas mencionadas anteriormente.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo de optimización del sistema de inventarios de medicamentos y materiales médico-quirúrgicos de la Clínica Universitaria Bolivariana.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico del proceso actual de abastecimiento de los almacenes de la CUB.
- Categorizar el inventario de medicamentos y materiales médico-quirúrgicos por factores.
- Identificar las variables críticas asociadas al sistema de inventarios de la CUB.
- Diseñar un modelo que permita optimizar el inventario del sistema de inventarios de la CUB.
- Aplicar y validar el modelo de optimización.

3. ESTADO DEL ARTE

La logística hospitalaria reúne las actividades de transformación y de flujo de recursos y de pacientes, ésta muestra a un hospital como una organización que se encuentra integrada por procesos, proveedores, servicios y beneficiarios, con el principal objetivo de optimizar todos los eslabones que componen el servicio hospitalario (Aguirre, Amaya, Velasco, 2007).

El Council of Logistics Management. *Logistic in Service Industries* (2000), citado por (Jiménez *et al*, 2007), describen un conjunto de actividades logísticas que pueden ser desarrolladas dentro de un hospital:

- Servicios a los pacientes.
- Programación de las instalaciones
- Manipulación de los materiales
- Previsiones
- Programación de salas de operaciones
- Compra de medicamentos
- Gestión de inventarios
- Programación de admisiones
- Urgencias
- Planificación de la capacidad, entre otros.

Por otro lado, el grupo de investigación PYLO (Producción y Logística) de la Universidad de los Andes, tiene como fin explorar las áreas de producción, logística y calidad en Colombia, en los últimos años han hecho investigaciones en todo el tema de Logística Hospitalaria, incluyendo la Gestión de Inventarios. Algunos de los casos de aplicación en los que se han enfocado se presentan a continuación:

- Estudio Logística Hospitalaria en el Hospital El Tunal ESE. Aguirre, S., Amaya C., Velasco, N. (Diciembre 2007): se presenta la metodología empleada para desarrollar el proyecto, que consiste en un estudio para implementar la logística hospitalaria en el

Hospital El Tunal, ya que esta complementa los deberes asistenciales del médico y son fundamentales para que un centro de salud opere adecuadamente.

- Planeación de Gestión de Inventarios a través del análisis de procesos en la Farmacia Quirúrgica de una clínica. Bobadilla, J., Amaya C., Velasco, N. (Diciembre 2008): en este trabajo se propone un método para controlar los tiempos de los procesos en la gestión del inventario, asignándole a los trabajadores tareas específicas y definiendo una técnica para estimar la demanda en esta farmacia.
- Modelo de coordinación de inventarios en la cadena de abastecimiento de medicamentos de un hospital público. Hernández, P., Amaya C., Velasco, N. (Julio 2008): se busca determinar una política de coordinación que minimice los costos promedios de ordenar y de mantener, en un sistema de inventario multinivel compuesto por M proveedores, 1 bodega y N farmacias, sobre el cual se trabaja con técnicas heurísticas por lo complejo del sistema.
- Estudio analítico para el control de inventarios de la farmacia de Urgencias de una clínica de la ciudad. Cruz, M., Aguirre, C., Amaya C., Velasco, N. (Diciembre 2008): se busca un mayor control sobre los inventarios, por medio de un estudio analítico que se realiza con base en la demanda de la clínica. El trabajo propone una alternativa que optimiza la cantidad a pedir y el tiempo de pedido para los medicamentos que maneja la farmacia.
- Análisis de un sistema de distribución de medicamentos en servicios de hospitalización: Una aplicación de simulación y de programación lineal. González C., Amaya, C., Velasco, N. (Diciembre 2008): el objetivo de este trabajo se centra en disminuir el tiempo promedio de espera desde la entrega de la prescripción médica hasta la distribución de los medicamentos; para lo cual se trabaja un modelo compuesto de simulación y programación lineal.
- Selección e implementación de una política de inventarios para las farmacias auxiliares de un hospital público en Bogotá. Velasco, N., Amaya, C. (Diciembre 2008): este trabajo busca desarrollar una política de inventario que mejore el nivel de satisfacción de los pacientes en relación con el servicio farmacéutico de un hospital

público, el sistema considerado es multinivel con 1 bodega y N minoristas. Se estudian dos políticas de inventario de revisión periódica, escogiéndose aquella que sea más eficiente.

- Política de inventarios para la bodega central y farmacias auxiliares del Hospital Universitario Clínica San Rafael. Gómez, L, C.A. Amaya, C y Velasco, N. (Julio 2012): en este trabajo se desarrolla un modelo de inventario máximo (revisión periódica) para los medicamentos y dispositivos médicos, el cual se basa en un análisis de regresión para la determinación de la tendencia.

Los trabajos mencionados anteriormente dan una idea de lo trabajado en Colombia en este ámbito, aunque cabe resaltar que en el país siguen siendo incipientes las investigaciones en el tema.

En el contexto internacional se ha profundizado más en la logística hospitalaria, incluyendo la gestión de los inventarios, algunos de los trabajos realizados en otros países son mencionados a continuación:

- En la Clínica Ricardo Palma, ubicada en la ciudad de Lima-Perú, se realizó un modelo de simulación de inventario basado en redes neuronales artificiales supervisadas y algoritmos genéticos para optimizar el inventario de medicamentos.
- En España, se implementó en aproximadamente 18 centros de salud una estrategia que involucra la automatización para el aprovisionamiento del almacén central, basado en una política por nivel de existencias, que buscaba que el reabastecimiento del almacén se dé por lo que se consume realmente en el hospital y el control de inventario, todo esto en miras de reducir los tiempos de entrega de productos por parte del proveedor, disminuir la variabilidad que se presenta en el consumo y la cantidad de productos obsoletos que se encuentran dentro del almacén. El impacto en todos los hospitales donde se aplicó dicha política fue positivo.
- En la universidad Rutgers, ubicada en New Jersey, Estados Unidos, desarrollaron un modelo de inventario multi-periodo, en el cual la compra de la materia prima se da a través de una subasta, donde los proveedores suministran información de precios y

tiempo de entrega. El modelo está basado en una combinación de programación dinámica estocástica y simulación (Farahvash & Altiok, s.f.).

- En Hong Kong, diseñaron un sistema de gestión de salud basado en RFID (Identificación por radiofrecuencia) usando un sistema de información de una teoría de diseño, con el fin de proporcionar un soporte efectivo en la transformación y optimización de todas las prácticas relacionadas con la industria de la salud (Ngai, Poon, Suk & Ng, 2009).

Sistema de inventario de medicamentos

- Sistemas de Dispensación Automatizada de Medicamentos (SADME): el uso de este tipo de sistemas permite mejorar y volver más eficiente la logística de distribución o dispensación de medicamentos, disminuyendo el tiempo empleado, mejorando la gestión de la información y la seguridad de esta tarea al disminuir errores de medicación (Sánchez, Abad, Salvador & De Frutos, 2001; Zafra, Isla, & Del Prado, 2012). Su funcionamiento está basado en una capacidad de almacenamiento controlada por medio de una interfaz que conecta el sistema de información de la farmacia con el sistema automatizado (Tejada, 2011).

En el Congreso Nacional de la Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria, realizado en el 2008, se presentaron varios trabajos realizados en torno al SADME, algunos de estos son:

- Estudio de la percepción del equipo de enfermería sobre el uso de los SADME en el servicio de urgencias de un hospital de tercer nivel.
- Sistema de gestión automatizado de medicamentos estupefacientes en un servicio de farmacia.
- Impacto de la implantación de un sistema de dispensación semi-automatizada de medicamentos en un servicio de urgencias.

Otros trabajos desarrollados:

- Análisis coste-beneficio de la implantación de los sistemas automáticos de dispensación de medicamentos en las Unidades de Críticos y Urgencias (Poveda, García, Hernández, Valladolid, 2003): busca determinar, en términos económicos, las consecuencias de la sustitución de botiquines de planta por la implementación de SADME.
- Tesis: Organización y sistematización del almacén de medicamentos de una organización no gubernamental de servicios de salud (Alvarado, 2007).
- Optimización de la calidad del proceso de dispensación de medicamentos en dosis unitarias mediante la implantación del sistema semiautomático Kardex®. (Juvany, Sevilla, de la Peña, Leiva, Perayre, Jódar, 2007).
- o Sistema de dispensación por stock en unidad de enfermería: es el sistema tradicional, consiste en tener depósitos de medicamentos en la unidad clínica correspondiente, controlados por el personal de enfermería. Tiene cantidades pactadas de las especialidades farmacéuticas que cubren necesidades usuales de los pacientes (Sánchez et al, 2001).
- o Sistema de dispensación por reposición y paciente: consiste en establecer en cada unidad clínica depósitos controlados por el personal de enfermería, que permitan la administración de medicamentos con anterioridad a la solicitud por paciente, con reposición diaria y petición individualizada al servicio de farmacia para cada uno de los pacientes (Sánchez et al, 2001)
- o Sistema de dispensación de medicamentos en dosis unitaria (SDMDU): se requiere tener en enfermería un stock de medicamentos adicional, que tiene como función cubrir algunas necesidades, como las primeras dosis de medicamentos de urgencias, antisépticos, sueros, soluciones de gran volumen, entre otros (Sánchez et al, 2001). Un trabajo relacionado con este sistema es: Implementación del sistema de distribución de medicamentos en dosis unitarias en un hospital público (Díaz, Muñoz, León, Camacho,

1998). Fue implementado en el servicio de medicina interna del hospital público de nivel III Simón Bolívar, ubicado en Bogotá, Colombia.

El Hospital Regional Universitario Carlos Haya, ubicado en Málaga-España, cuenta con un área llamada dosis unitaria, la cual une el Sistema de Dispensación de Medicamentos de Dosis Unitaria (SDMDU) y el un Sistema Automático de Dispensación de Medicamentos (SADME).

4. MARCO TEÓRICO

4.1. INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES (IO)

La Investigación de Operaciones surge cuando se comienzan a realizar intentos para emplear el método científico en la administración de una empresa. A pesar de esto, su uso como una actividad se dio durante la Segunda Guerra Mundial, cuando tanto británicos como americanos hicieron un llamado a equipos de científicos para que estos determinaran la asignación óptima de los recursos con los que contaban a cada una de las operaciones militares. Al finalizar la guerra, la IO generó gran interés para ser aplicada en otros campos diferentes del militar, por lo tanto comenzó a emplearse en la industria para mejorar su eficiencia y productividad (Taha, 2004; Hillier, Lieberman, 2002).

La IO es un conjunto de disciplinas que se emplean para resolver, por medio de métodos matemáticos, problemas que requieren una solución óptima (González, 1999). Por otro lado, Moya (1990), define a la IO como “el desarrollo y aplicación de técnicas cuantitativas (procedimiento científico) para la solución de los problemas y toma de decisiones que enfrentan tanto los administradores de organizaciones públicas como de organizaciones privadas”. Ésta tiene una serie de tareas, entre las que se encuentran: la recolección y análisis de datos, desarrollo y pruebas de modelos matemáticos, propuesta de soluciones, interpretación de la solución e implantación de acciones de mejora (Ramos y Vitoriano, s.f.).

Winston (2005) afirma que la investigación de operaciones, la cual es comúnmente llamada ciencia de la administración, “es un enfoque científico en la toma de decisiones que busca el mejor diseño y operación de un sistema, por lo regular en condiciones que requieren la asignación de recursos escasos”. Este enfoque científico requiere el uso de uno o más modelos matemáticos.

Cabe resaltar que no existe una sola técnica para resolver los modelos de la Investigación de Operaciones, la clase y lo complejo de este es lo que determina el método que se va a

emplear para la solución de cada problema matemático (Taha, 2004). Este enfoque está agrupado en una serie de disciplinas, algunas de las cuales son:

- Optimización
- Teoría de inventarios
- Teoría de decisiones
- Teoría de colas
- Simulación
- Flujos de redes

También se encuentran otro tipo de disciplinas más complejas como algoritmos metaheurísticos, lógica difusa, reconocimiento de patrones, entre otras, que aunque pueden encuadrarse dentro de la investigación de operaciones, generalmente se estudian por medio de la inteligencia artificial, una disciplina relacionada con la Ingeniería Informática (Ramos, Sánchez, Ferrer, Barquín & Linares, 2010).

4.2. OPTIMIZACIÓN

La Real Academia de la Lengua Española (RAE) define el término optimizar como “la búsqueda de la mejor forma de realizar una actividad”.

Los métodos de optimización pueden clasificarse en métodos clásicos y métodos metaheurísticos. (Ramos et al, 2010) afirman que los primeros buscan y garantizan un óptimo local, mientras que los metaheurísticos imitan fenómenos sencillos observados en la naturaleza y cuentan con mecanismos específicos para obtener un óptimo global aunque no se garantiza su alcance.

Un modelo de optimización tiene como objetivo encontrar valores que optimicen una función objetivo que satisfagan las restricciones dadas. Winston (2005) analiza principalmente el modelo prescriptivo o de optimización, el cual establece el comportamiento de una organización para que pueda alcanzar sus metas. Dicho modelo cuenta con 3 elementos: Función objetivo, variables de decisión y restricciones.

Métodos clásicos de optimización

- Lineal con variables enteras:
 - Programación entera pura (todas las variables son enteras)
 - Programación entera binaria (si todas las variables son binarias)
 - Programación lineal entera mixta (algunas enteras o binarias y las demás continuas)
- Lineal entera mixta
- No lineal
- Estocástica
- Dinámica

Métodos metaheurísticos

- Algoritmos evolutivos
- Recocido simulado
- Búsquedas heurísticas (método tabú, búsqueda aleatoria, avariciosa, etc.)

4.3. SISTEMA DE INVENTARIOS

Un sistema de inventarios se puede definir como un sistema en el que el costo de mantener en inventario, el costo debido al déficit y el costo de efectuar un pedido u ordenar son considerados los únicos costos relevantes. Los 3 costos anteriores están directamente relacionados, si se incrementa uno de estos, los otros tienden a disminuir, y viceversa (Calderón, 1985), dicha relación se muestra en la figura 1.

Para Calderón (1985) los sistemas de inventarios poseen una serie de propiedades que caracterizan a los sistemas de inventarios:

- Propiedades de la demanda: el principal objetivo de mantener existencias de un artículo es satisfacer la demanda que tenga en un futuro dicho producto. La demanda es considerada el elemento más importante de un sistema de inventarios.

- Propiedades del abastecimiento o suministro: el abastecimiento corresponde a aquellas cantidades que se programan para tener en inventario.
- Propiedades de los costos relevantes: en un sistema de inventarios solo son significativos 3 tipos de costos: costos de adquisición, de mantenimiento de inventario y de escasez, de los cuales 2 deben estar controlados.

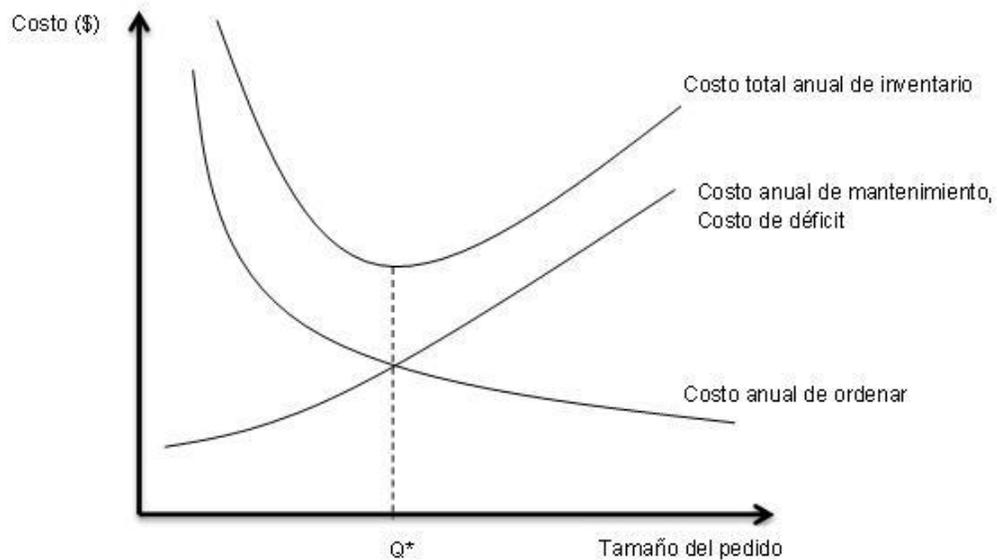


Figura 1. Relación de los costos asociados a los inventarios
Fuente: Elaboración propia basada en Vega, 2001.

Vega y Ríos (2001) afirman que en un sistema de inventarios se pueden identificar 5 componentes característicos, los cuales son los que determinan los diversos modelos de inventario: la demanda, la formación de stock o inventario, los costos, el horizonte de tiempo y el número de artículos.

Por otro lado, (Riff, 2003) considera que en todo modelo de inventario es posible identificar 8 variables:

- Número de productos
- Nivel de inventario
- Tasa de disminución: la cual se encuentra relacionada con la demanda.

- Punto de reorden: establece el momento en que se debe emitir una nueva orden.
- Tiempo entre la orden y la llegada del producto (lead-time).
- Cantidad ordenada y tamaño de lote
- Costos de ordenar o puesta en marcha
- Costo de mantener unidades en inventario: asociado con costo de capital, almacenamiento, deterioro, pérdidas, impuestos, seguros.

En los sistemas de inventario, aparte de tener en cuentas las variables que los define, también deben considerarse los diferentes tipos de inventarios que existen (Krajewski, Ritzman, Malhotra, 2008):

- Inventario de ciclo: es la porción del inventario total que varía en forma directamente proporcional al tamaño del lote.
- Inventario de seguridad: es un excedente de inventario que se emplea para protegerse contra la incertidumbre que tiene la demanda, los tiempos de espera y los cambios en el abastecimiento.
- Inventario de previsión: utilizado para absorber las irregularidades que se presentan en las tasas de la demanda y la oferta.
- Inventario en tránsito: es aquel que se mueve de un punto a otro en el sistema de flujo de materiales.

La complejidad de un modelo de inventario se determina a través del tipo demanda de los artículos, es decir, si la demanda es determinista o probabilística. Por demanda determinista se puede entender que la cantidad a pedir en cada periodo puede conocerse con certeza y certidumbre, además puede ser: estática cuando el consumo permanece constante en el transcurso del tiempo, y dinámica, cuando la demanda varía entre un periodo y otro, a pesar que ésta se conoce con certeza. La demanda probabilística se da cuando la demanda o el consumo en un periodo es incierto o con incertidumbre, en este caso puede ser estacionario, donde la función de densidad de probabilidad de la demanda permanece sin cambios en el tiempo, y no estacionaria, donde la función de probabilidad varía en el tiempo (Arbones, 1989).

Existe gran cantidad de sistemas de inventarios tanto determinísticos como probabilísticos, a continuación se van a mencionar algunos de ellos y solo se profundizarán en los que puedan ser empleados en el presente trabajo.

4.3.1. Modelos de inventario determinísticos

Estos modelos se caracterizan por tener una demanda y unos tiempos de entrega constantes y conocidos. Taha (2004) menciona 5 modelos que pertenecen a este grupo:

- Modelos estáticos de cantidad económica de pedido:
 - Cantidad económica de pedido
 - Cantidad económica de pedido con discontinuidades de precio
 - Cantidad económica de pedido de varios artículos con limitación del almacén
- Modelos dinámicos
 - Modelo sin costo de preparación
 - Modelo con preparación

4.3.2. Modelos de inventario probabilísticos

Son aquellos en los cuales no se conoce ni la demanda ni el tiempo de entrega, pero sus variables tienen un comportamiento similar a una distribución de probabilidad. A continuación se enuncian algunas de las técnicas trabajadas por distintos autores (Taha, 2004; Vega y Ríos; 2001; Zapata; 2011).

- Modelos de revisión continua:

- Modelo “probabilizado” de cantidad económica de pedido: usa una aproximación que sobrepone una existencia constante de reserva que va por encima del nivel de inventario. El tamaño de la reserva es definido por medio de que la probabilidad de que se agote la existencia durante el tiempo de entrega no sea superior a un valor que se especifique (Taha, 2004).

Las variables empleadas en este modelo son:

L = Tiempo de entrega entre la colocación y la recepción de un pedido.

x_L = Variable aleatoria que representa la demanda durante el tiempo de entrega.

μ_L = Demanda promedio durante el tiempo de entrega.

σ_L = Desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega.

B = Tamaño de la existencia de la reserva.

α = Probabilidad máxima admisible de que se agote la existencia durante el tiempo de entrega.

Hipótesis principal del modelo: $x_L \sim N(\mu_L, \sigma_L)$, esto es, la demanda durante el tiempo de entrega L , tiene una distribución normal con promedio μ_L y desviación estándar σ_L .

Para determinar B se emplea la siguiente formulación de probabilidad:

$$P\{x_L \geq B + \mu_L\} \leq \alpha$$

Se puede convertir x_L en una variable aleatoria normal estándar $N(0,1)$ con la sustitución:

$$z = \frac{x_L - \mu_L}{\sigma_L}$$

Entonces,

$$P\left\{z \geq \frac{B}{\sigma_L}\right\} \leq \alpha$$

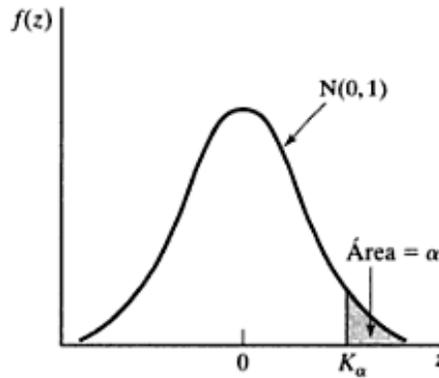


Figura 2. Probabilidad de que se agote la existencia, $P\{z \geq K_\alpha\} = \alpha$

Tomado de: Taha, 2004

El tamaño de la reserva debe satisfacer:

$$B \geq \sigma_L K_\alpha$$

La demanda durante el tiempo de entrega L puede escribirse con una función de densidad de probabilidad por unidad de tiempo, a partir de esta se puede determinar la distribución de la demanda durante L . La media de la demanda (μ_L) y la desviación de la demanda (σ_L), pueden calcularse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \mu_L &= DL \\ \sigma_L &= \sqrt{\sigma^2 L} \end{aligned}$$

Donde, L es el tiempo de entrega, D es la media y σ la desviación estándar de la demanda por unidad de tiempo normal. En la fórmula σ_L es necesario que L sea un valor (redondeado a) entero.

- Modelo probabilístico de cantidad económica de pedido: este modelo es más exacto que el anterior, ya que se considera la naturaleza probabilística de la demanda de manera directa; además permite faltantes durante la demanda como se observa en la figura 2 (Taha, 2004, p. 562, 563).

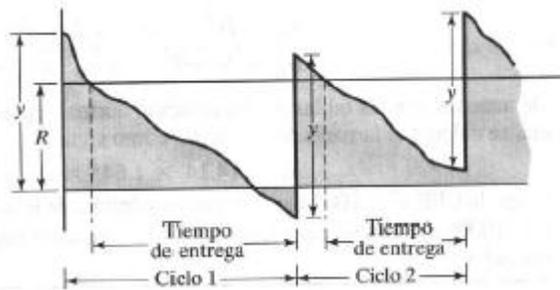


Figura 3. Modelo probabilístico de inventario con faltante

Fuente: Taha, 2004

Este modelo tiene 3 hipótesis que lo define:

- i. La demanda no satisfecha durante el tiempo de entrega se acumula.
- ii. No se permite tener más de un pedido vigente.
- iii. La distribución de la demanda durante el tiempo de entrega no cambia con el tiempo, es decir, permanece estacionaria.

- Modelo de cantidad de ordenar fija y punto de reorden variable: este modelo se encarga de vigilar de manera permanente cuál es el nivel de inventario. El lead-time o tiempo de entrega se considera desde que se comienza a elaborar una orden hasta que se ingresa al almacén (Zapata, 2011), en este lapso de tiempo es en el cual se corre riesgo de presentar faltantes, por esto se asume un inventario de seguridad. El modelo tiene la siguiente notación:

NS = Nivel de servicio

N = Número de pedidos anuales

F = Faltantes de pedidos anuales.

D = Demanda anual.

Q = Cantidad óptima a pedir.

IS = Inventario de seguridad.

σ = Desviación estándar.

z = Valor de la normal respecto al nivel de servicio.

L = Tiempo de entrega expresado en unidades.

T = Tiempo considerado para el pronóstico expresado en unidades.

PR = Punto de reorden.

I_p = Inventario promedio.

I_{max} = Inventario máximo.

Las ecuaciones del modelo son:

$$NS = \frac{N - F}{N} * 100\%$$

$$N = \frac{D}{Q}$$

$$IS = \sigma z \sqrt{\frac{L}{T}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(D - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

$$PR = DL + IS$$

$$I_p = \frac{Q}{2} + IS$$

$$I_{max} = Q + IS$$

- o Modelos de un periodo: se presentan al pedir un artículo solo una vez para satisfacer la demanda del periodo. Los símbolos empleados en este grupo de modelos son (Taha, 2004, p. 567, 571):

c = Costo de compra (o producción) por unidad

K = Costo de preparación por pedido.

h = Costo de almacenamiento por unidad conservada durante el periodo.

p = Penalización por unidad faltante durante el periodo.

D = Variable aleatoria que representa la demanda durante el periodo.

$f(D)$ = Distribución de la función de la probabilidad de la demanda durante el periodo.

y = Cantidad pedida.

x = Cantidad a la mano, antes de hacer un pedido.

- Modelo sin preparación: este modelo tiene dos hipótesis:
 - i. La demanda es presentada de manera instantánea al comenzar el periodo inmediatamente después de que se recibe el pedido.
 - ii. No se incurre en un costo relacionado con la preparación.

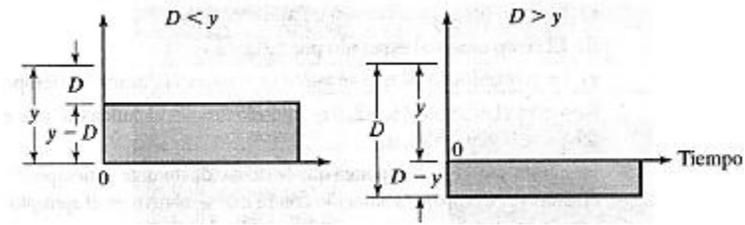


Figura 4. Almacenamiento y faltante de inventario en modelo de un solo periodo

Fuente: Taha, 2004.

- Modelo con preparación: se difiere del modelo anterior en que adicionalmente se incurre en un costo de preparación K .
- o Modelo de revisión periódica (cantidad de ordenar variable, ciclo fijo): los ciclos de abastecimiento están definidos, pero el tamaño de la orden varía ya que se generan fluctuaciones periodo a periodo por causas externas e internas que modifica el consumo por lo que no se puede establecer una cantidad a ordenar fija (Carbajal, Martínez, 2010). La notación asociada a este modelo y las ecuaciones se muestran a continuación:

NS = Nivel de servicio

N = Número de pedidos anuales

F = Faltantes de pedidos anuales.

D = Demanda anual.

Q = Cantidad óptima a pedir.

IS = Inventario de seguridad.

σ = Desviación estándar.

z = Valor de la normal respecto al nivel de servicio.

L = Tiempo de entrega expresado en unidades.

T = Tiempo considerado para el pronóstico expresado en unidades.

PR = Punto de reorden.

I_p = Inventario promedio.

I_{max} = Inventario máximo.

γ = Tiempo o tipo de revisión expresado en unidades.

O_γ = Órdenes en tránsito al momento de la revisión.

I_f = Inventario físico al momento de la revisión

$$NS = \frac{N - F}{N} * 100\%$$

$$IS = \sigma z \sqrt{\frac{L + \gamma}{T}}$$

$$I_p = \frac{\bar{D}}{2}L + IS$$

$$Q = I_{max} - O_y - I_f$$

$$I_{max} = \bar{D}(\gamma + L) + IS$$

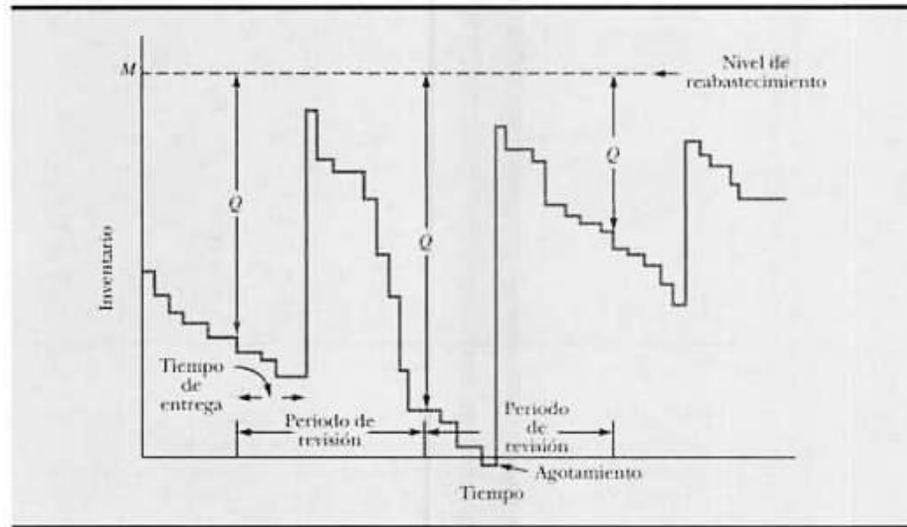


Figura 5. Gráfica de inventario para un modelo de revisión periódica con demanda probabilística

Fuente: Anderson, Sweeney, Williams, 2004

4.4. ALMACENAMIENTO DE MEDICAMENTOS

La organización Deliver en colaboración con la Organización Mundial de la Salud (2003), sostienen que los almacenes de medicamentos deben contar con un sistema para clasificar y organizar todos los productos, además todas las personas que se encuentren involucradas o relacionadas con estos almacenes deben conocer dicho sistema.

Entre los sistemas más comunes para clasificar los medicamentos están:

- Ordenamiento alfabético, según el nombre genérico
- Por categoría farmacéutica o farmacológica

- Clasificación por forma farmacéutica: los medicamentos se presentan en diferentes formas: comprimidos, jarabes e inyectables, los de uso externos pueden ser ungüentos y cremas.
- Según la frecuencia de uso
- Celda de estantería aleatoria
- Codificación de productos: cada artículo cuenta con un código y una ubicación propia.

En los registros de las existencias de los medicamentos y otros insumos de salud, debe figurar un mínimo de información, como:

- El nombre y la descripción de los productos, incluyendo forma farmacéutica y concentración
- Existencias disponibles y saldos de existencias iniciales
- Cantidades recibidas
- Cantidades despachadas
- Pérdidas y ajustes
- Saldo de las existencias al cierre

Según el sistema de información utilizado, también se puede incluir otro tipo de información:

- Condiciones especiales de almacenamiento como la temperatura
- La fecha de caducidad
- El código del producto

Un sistema de información logística debe manejar tres tipos de registros: los registros de las existencias, los registros de las transacciones y los registros de los productos consumidos.

4.5. INVENTARIO FÍSICO

Deliver en colaboración con la Organización Mundial de la Salud (2003) afirma que el inventario físico es el proceso que consiste en contar manualmente la cantidad de unidades de cada producto que existen en un almacén, en determinado momento. Este permite garantizar que el saldo de las existencias que figuran en el sistema coincida con la cantidad real de productos dentro del almacén. Hay dos clases de inventario físico:

- Inventarios físicos completos: todos los productos del almacén se cuentan al mismo tiempo, esto debe hacerse mínimo una vez al año
- Inventarios físicos rotativos o aleatorios: se realiza el inventario para determinados productos y se compara el resultado con el registro en el sistema, esto se hace periódicamente.

Etapas para la realización de un inventario físico:

- Planificación
- Asignación del personal
- Organización del depósito
- Recuento de los productos utilizables
- Actualización de los registros de las existencias
- Acciones a realizar sobre la base de los resultados del inventario físico
- Análisis y discusión de los resultados del inventario con el personal del establecimiento.

4.6. PRONÓSTICOS

Un pronóstico es “una predicción de acontecimientos futuros que se utilizan con propósitos de planificación” (Krajewski, Ritzman, Malhotra, 2008). Hanke y Wichern (2006) afirman que los pronósticos son necesarios porque las organizaciones se desarrollan y

operan en un entorno en el cual la incertidumbre siempre está presente, y donde además se deben tomar decisiones de nivel táctico, operativo y estratégico que pueden afectar considerablemente el futuro de la empresa.

Los pronósticos pueden clasificarse de distintas maneras, entre las que se pueden destacar:

- Pronósticos de corto plazo o de largo plazo: los primeros empleados para diseñar estrategias inmediatas y los segundos para establecer el curso general de una organización.
- Pronósticos cualitativos o cuantitativos: los cualitativos no requiere manipulación de datos, solo el juicio de la persona que pronostica, dentro de estos pueden incluirse las estimaciones del personal de ventas, la opinión ejecutiva, la investigación de mercados y el método Delphi. Los métodos cuantitativos son operaciones que producen resultados cuantitativos y pueden emplearse técnicas como los métodos causales (regresión lineal) y el análisis de series de tiempo (Krajewski, Ritzman, Malhotra, 2008).

4.6.1. Exploración de patrones de datos de series de tiempo

Para elegir de manera adecuada un método de pronósticos, es necesario conocer y considerar los cinco patrones básicos de las series de tiempo (Hanke & Wichern, 2006; Krajewski, Ritzman, Malhotra, 2008):

- Horizontal: los datos fluctúan en torno a un nivel constante o medio.
- Tendencia: los datos tienen un incremento o un decremento de la media de la serie en un periodo determinado.

- Estacional: los datos corresponden a un patrón repetible de incrementos o decrementos de la demanda, dependiendo de una temporada (día, semana, mes, año).
- Cíclico: es la oscilación alrededor de la tendencia, es decir, incrementos o decrementos graduales que se evidencian en el transcurso de largos periodos de tiempo.
- Aleatorio: variación imprevisible de la demanda, resultado de eventos fortuitos por los cuales todos los pronósticos resultan equivocados.

4.6.2. Exploración de patrones de datos con análisis de autocorrelación

Hane y Wichern (2006) afirman que es posible definir la relación de una variable que se observa en distintos periodos de tiempo por medio del coeficiente de autocorrelación, el uso de este coeficiente para distintos retrasos de una variable permite identificar los patrones de las series de datos mencionadas anteriormente.

4.6.3. Métodos causales

(Krajewski, Ritzman, Malhotra, 2008) Se emplean cuando se tienen datos históricos y es posible identificar la relación entre el factor que se quiere pronosticar y otros factores externos e internos que sean de interés y afecten a la organización. Estos métodos aportan herramientas avanzadas de pronósticos y son útiles para prever los puntos en los que la demanda puede cambiar, preparándose con pronósticos a largo plazo.

4.6.3.1. Regresión lineal simple

En este método se identifican dos variables: la variable dependiente, la cual se desea pronosticar, y la o las variables independientes que influyen sobre la dependiente, afectando su resultado; ambas están relacionadas por medio de una ecuación lineal que expresa la relación entre las mismas (Hanke & Wichern, 2006). Para emplear este método se debe elegir la línea recta que mejor se ajuste al comportamiento de los datos, para lo cual se utiliza el criterio de mínimos cuadrados que indica que la línea que mejor se ajusta es aquella que minimiza la suma del cuadrado de las distancias desde los puntos hasta la línea; esta recta se denomina de mínimos cuadrados o de regresión ajustada y es de la siguiente forma:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X$$

Donde b_0 es la intersección con el eje Y, b_1 es la pendiente.

El método de mínimos cuadrados elige los valores para b_0 y b_1 que disminuyan el error de la suma de los cuadrados:

$$SSE = \sum (Y - \hat{Y})^2 = \sum (Y - b_0 - b_1X)^2$$

4.6.4. Métodos de series de tiempo

(Krajewski, Ritzman, Malhotra, 2008) Estos métodos emplean información histórica que solo se relaciona con la variable dependiente. Se basan en el supuesto de que el patrón de la variable en el pasado, será la misma que en el futuro.

A continuación se presenta la tabla 1 donde se resumen algunas técnicas de pronósticos apropiadas para patrones de datos específicos. Se profundizará en aquellos métodos que se consideren pueden aplicarse al problema planteado en el presente trabajo.

Tabla 1. Técnicas de pronósticos

Método	Patrón de datos	Horizonte de tiempo	Tipo de modelo
Informal	ST, T, S	S	TS
Promedios simples	ST	S	TS
Promedios móviles	ST	S	TS
Suavizamiento exponencial	ST	S	TS
Suavizamiento exponencial lineal	T	S	TS
Suavizamiento exponencial cuadrático	T	S	TS
Suavizamiento exponencial estacional	S	S	TS
Filtración adaptativa	S	S	TS
Regresión simple	T	I	C
Regresión múltiple	C, S	I	C
Descomposición clásica	S	S	TS
Modelos de tendencia exponencial	T	I, L	TS
Ajuste de curva S	T	I, L	TS
Modelos Gompertz	T	I, L	TS
Curvas de crecimiento	T	I, L	TS
Censo X-12	S	S	TS
Box-Jenkins	ST, T, C, S	S	TS
Indicadores principales	C	S	C
Modelos econométricos	C	S	C
Regresión múltiple con series de tiempo	T, S	I, L	C

Patrones de datos ST: estacionarios; T: tendencia; S: estacional; C: cíclico
Horizonte de tiempo S: corto plazo (menos de 3 meses); I: intermedio; L: largo plazo
Tipo de modelo TS: serie de tiempo; C: causal

Fuente: Hanke & Wichern (2006)

4.6.4.1. Suavizamiento Exponencial

Este método proporciona un promedio móvil con un peso exponencial de los valores observados anteriormente. Es empleado generalmente para aplicar sobre datos que no tienen tendencia predecible. El objetivo del método es estimar el valor real que posteriormente se emplea para pronosticar valores futuros.

Consiste en promediar los valores históricos de una serie de forma que decrece exponencialmente, esto es, darle más peso a los datos más recientes. La ecuación de suavizamiento exponencial es:

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)Y_t$$

Donde:

\hat{Y}_{t+1} = Valor pronosticado para el nuevo periodo.

α = Constante de suavizamiento ($0 < \alpha < 1$).

Y_t = Nueva observación o valor real de una serie en el periodo t.

\hat{Y}_t = Antiguo valor suavizado o pronóstico para el periodo t.

La ecuación anterior también puede expresarse de la siguiente manera:

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + \alpha(1 - \alpha)Y_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 Y_{t-2} + \alpha(1 - \alpha)^3 Y_{t-3} + \dots$$

El valor que sea asignado a α es fundamental para realizar un buen análisis. Cuando se requiere que los pronósticos sean estables, es necesario tomar un valor de α pequeño; si se desea una respuesta rápida a un cambio real en el patrón de observaciones, se debe emplear un α de mayor valor.

Para estimar el valor adecuado que debe tomar α , se debe realizar un procedimiento repetitivo para minimizar el error cuadrático medio (MSE); para lo cual se calculan los pronósticos empleando distintos valores de α (0.1, 0.2, ..., 0.9), luego se calcula la suma de MSE pronosticado para cada valor, finalmente se elige el α que genere el menor error para usarlo en los siguientes ejercicios de pronóstico.

La medición del MSE se da con la siguiente fórmula:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2$$

4.6.5. Medición del error del pronóstico

Hay diversos métodos que permiten calcular los errores que se generan al aplicar una técnica de pronóstico determinada, la mayoría de estos métodos trabajan con residuales, que es la diferencia entre el valor real y el valor pronosticado.

Existe una notación matemática para pronósticos:

Y_t = Valor de una serie de tiempo en el periodo t

\hat{Y}_t = Valor pronosticado de Y_t

e_t = Error o residual de pronóstico

Para calcular el error de pronóstico (o residual) de cada periodo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t$$

Cuatro de los métodos empleados para evaluar las técnicas de los pronósticos son:

- Desviación absoluta media – MAD (Mean absolute deviation): mide la precisión de los pronósticos al promediar las magnitudes de los errores de pronóstico. Es útil en aquellos casos en que se quiera medir el error en la misma unidad de la serie original.

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t|$$

- Error cuadrático medio – MSE (Mean square error): este método penaliza los errores grandes de pronóstico, ya que los errores se elevan al cuadrado.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2$$

- Error porcentual absoluto medio – MAPE (Mean absolute percentage error): en ocasiones calcular el error en porcentaje es más útil, este método indica lo grande de los errores de pronóstico comparándolos con los valores reales de la serie temporal. Es útil emplearlo en los casos en que el tamaño o la magnitud de la variable del pronóstico es importante para evaluar la precisión de este; cuando los valores Y_t son grandes; o cuando se quiere comprar la precisión de una o varias técnicas en series diferentes.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t}$$

- Error porcentual medio – MPE (mean percentage error): se usa cuando se quiere determinar si una técnica de pronóstico tiene sesgo (produce pronósticos más altos o bajos de manera sistemática). Si el pronóstico no tiene sesgo, el valor del MPE será cercano a cero; y si el resultado es un alto porcentaje negativo o positivo, el método de pronóstico sobreestima o subestima de manera consistente, respectivamente.

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{(Y_t - \hat{Y}_t)}{Y_t}$$

4.7. VISUAL BASIC PARA APLICACIONES (VBA)

Es un lenguaje de programación que se encuentra integrado a las aplicaciones de Microsoft Office: Excel, Word, Access, Outlook y PowerPoint. Algunos de los objetivos de este lenguaje de programación son (Amelot, 2010, p. 18):

- Automatizar acciones que son repetitivas, por medio de una única operación que contenga una serie de comandos específicos.
- Interactuar sobre libros de Excel, los cuales se pueden modificar por medio de un código realizado en VBA.

- Crear formularios personalizados con los que se pueden diseñar interfaces amigables para el ingreso o salida de información.
- Modificar las opciones de Excel, cada una de estas está asociada a una propiedad de un objeto VBA.
- Comunicar Excel con la demás aplicaciones de Microsoft Office, intercambiando información entre éstas, empleando los objetos de cada una, entre otros.

El lenguaje de programación VBA puede emplearse para la creación de macros, las cuales sirven para automatizar tareas y actividades que sean repetitivas.

5. SISTEMAS DE INVENTARIOS DE LA CUB

5.1. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO ACTUAL DEL ALMACÉN

La Real Academia de la Lengua Española define el término diagnosticar como “recoger y analizar datos para evaluar problemas de diversa naturaleza”; para el presente trabajo se realiza un diagnóstico sobre el proceso actual de compras de la Clínica Universitaria Bolivariana, con el fin de estudiar una de las problemáticas más sentidas dentro de esta área. Es necesario mencionar que también se analiza el Servicio Farmacéutico, ya que se encuentra directamente relacionada con aprovisionamiento.

El diagnóstico realizado sigue un proceso como el mostrado a continuación y se profundizará sobre los pasos o etapas en los capítulos que siguen. Todo el diagnóstico se realiza con miras en presentar una propuesta de mejora al área de aprovisionamiento para optimizar alguna de las actividades allí realizadas.



Figura 6. Proceso para elaboración de diagnóstico
Fuente: Elaboración propia

Como muestra el gráfico 3, el diagnóstico inicia con la observación general del proceso de compras, incluyendo el almacenamiento, este primer paso permite tener un acercamiento con las actividades realizadas por el área, además sirve para identificar algunas de las

problemáticas que pueden ser susceptibles de mejora con el presente trabajo. Se reconoce el proceso y se generan inquietudes para ser resueltas en el segundo paso.

La segunda parte para realizar el diagnóstico está compuesta por visitas realizadas al personal encargado de éstas áreas en la CUB, al cual se le generan preguntas que permiten ir ahondando en el conocimiento sobre el proceso y sus problemáticas. Algunas de las preguntas surgen de la etapa de observación, otras se van generando de las visitas. A continuación se enuncian algunas de las preguntas:

- ¿Cuál es el proceso de compras de la Clínica Universitaria Bolivariana?
- ¿Cada cuánto ordenan?
- ¿Tienen considerado un costo de ordenar y un costo de almacenar?
- ¿Cuántos proveedores tienen actualmente?
- ¿Qué política de inventarios manejan?
- ¿Cómo pronostican la demanda para los próximos periodos? ¿Ha sido acertado el método?
- ¿Cuáles consideran que son las problemáticas más importantes dentro del área?
- ¿Cómo les parece el sistema de información con el que actualmente cuenta la CUB?
- ¿Qué variables se consideran para almacenar?
- ¿Tienen definida una clasificación de los medicamentos y materiales médico-quirúrgicos? ¿Esta clasificación se encuentra dentro del sistema de información?

Posterior a las preguntas, se recopilan todos los datos e información suministrados por la CUB con el fin de organizarla para extraer de esta aquella que sea útil para el propósito de este trabajo, luego se procede a analizarla y se emplea como entrada o insumo aquella que sea adecuada para la propuesta de solución. El cuarto paso indica la selección de uno de los problemas que tenga la clínica, que se elige teniendo en cuenta los 3 pasos anteriores, los intereses y principales necesidades de la institución y la posibilidad de realizarlo en el marco de este trabajo.

Finalmente, con toda la información recogida, el análisis realizado y la selección del problema a resolver, se comienza a elaborar la propuesta de mejora que tendrá como resultado la optimización de una de las actividades realizadas por el área de compras. Para conocer en detalle la propuesta, ver el capítulo 6.

A continuación se expone la información recopilada a través de las conversaciones y entrevistas tenidas con el personal de la CUB que, como se mencionó anteriormente, se convierte en insumo para las actividades realizadas posteriormente.

El sistema de información empleado en la CUB se denomina Servinte, el cual es un sistema que busca ofrecer el manejo ágil, integrado y eficiente de los procesos médico-administrativos de las entidades prestadoras de servicios de salud. Está compuesto por una serie de módulos que permiten realizar la gestión de dichos procesos, algunos de los módulos son: admisiones; ayudas diagnósticas; citas; cirugías; suministros, inventario y farmacia; contabilidad; activos fijos; entre otros.

El propósito de Servinte dentro de la institución, específicamente dentro del área de aprovisionamiento, es el de gestionar y suministrar adecuadamente las compras de medicamentos y materiales médico-quirúrgicos. Tiene en la actualidad una serie de fallas que se mencionarán más adelante.

El proceso de compras se realiza desde el área de aprovisionamiento, la cual se encarga de planear, contactar a proveedores, cotizar y comprar todo lo que la CUB requiere en cuanto a medicamentos y dispositivos médicos para que la prestación de sus servicios no se vea afectada. La planeación se realiza cada mes, donde se analizan los históricos de consumo, los consumos actuales y el inventario.

El servicio farmacéutico es el responsable de administrar de manera óptima y adecuada todos los medicamentos y dispositivos médicos que se encuentran en el almacén.

La cadena de abastecimiento interno de medicamentos en la Clínica Universitaria Bolivariana está conformada por tres niveles: m proveedores, 1 almacén (servicio farmacéutico) y 3 sub-almacenes. El servicio farmacéutico es el encargado de abastecer a los 3 sub-almacenes que se encuentran en zonas estratégicas de la clínica. En la figura 7 se observa cual es el sistema de abastecimiento.



Figura 7. Sistema de aprovisionamiento en la CUB.

Las áreas de aprovisionamiento y servicio farmacéutico están directamente relacionadas y a pesar de ser independiente la una de la otra, se ven afectadas por la gestión que se realice desde estas, entre ambas áreas se da un proceso como el que se muestra en la figura 8, este proceso va desde la planeación de las compras hasta que los medicamentos y dispositivos son despachados a cada paciente.

5.1.1. Aprovisionamiento

El sistema de información (SI) fue implementado en la Clínica hace algunos años, momento en el cual el proveedor realizó la capacitación sobre la herramienta a las personas correspondientes. Hoy las personas que fueron capacitadas ya no están en la institución, y la documentación y gestión del conocimiento relacionado con el manejo del sistema no fue elaborado ni desarrollado; esto está afectando la gestión del área de aprovisionamiento, ya que al no conocer todo el alcance y funcionamiento de la herramienta se está subutilizando y algunos de los procesos que este sistema puede soportar están siendo realizados con aplicaciones aisladas que se han desarrollado internamente y que permiten ejecutar las actividades del día a día, arrojando datos e información veraz de manera adecuada y oportuna.

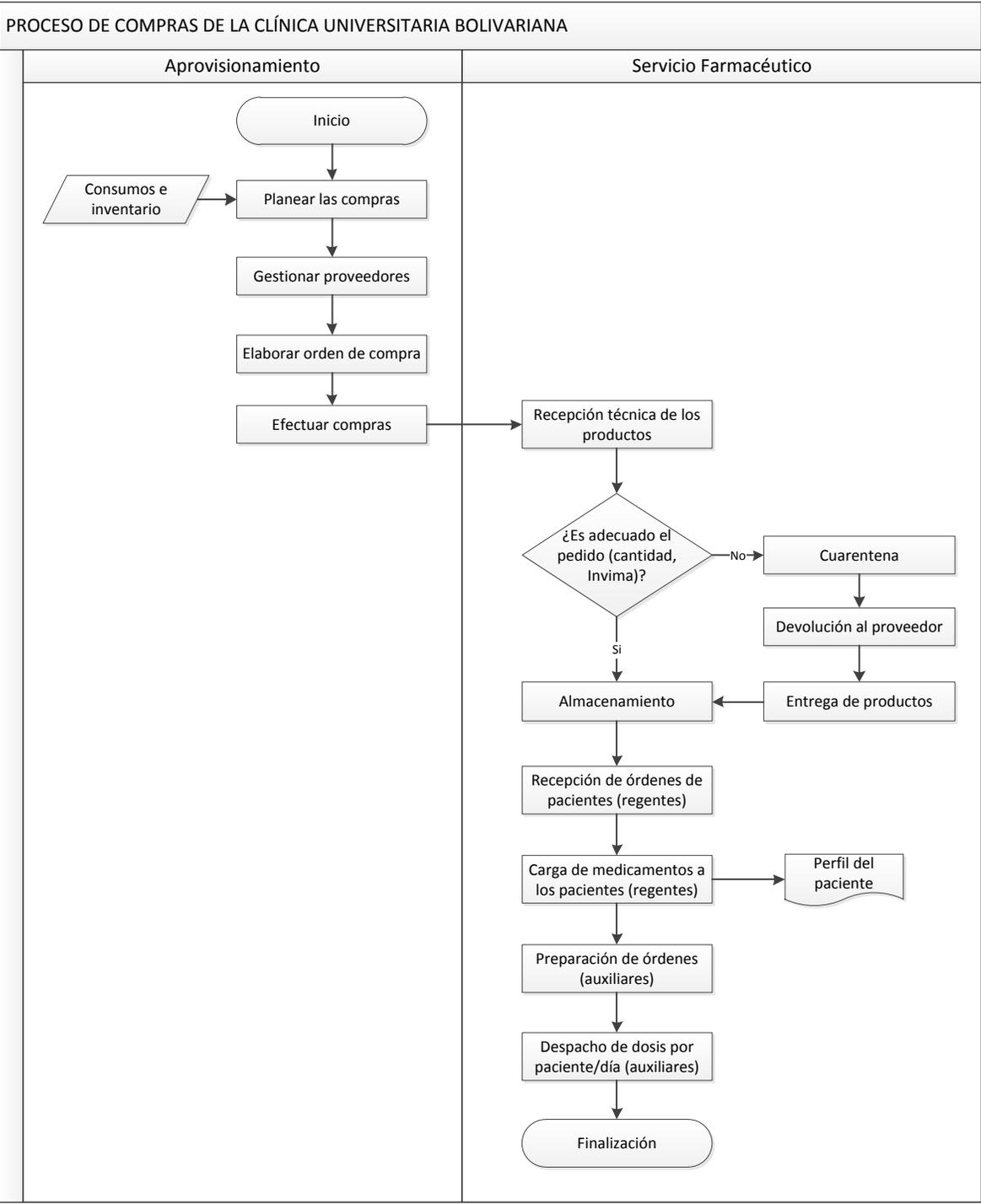


Figura 8. Diagrama de flujo de las actividades realizadas por Aprovisionamiento y Servicio Farmacéutico
Fuente: Elaboración propia.

Dichas aplicaciones se encuentran alojadas en la intranet y si bien ayudan al proceso de aprovisionamiento no lo hacen de manera óptima, ya que al encontrarse aisladas del sistema de información principal hace que sea necesario invertir grandes esfuerzos operativos para manejarlas, gastando gran cantidad de tiempo en realizar actividades tediosas pero que son importantes para la adecuada planeación periódica de las compras de medicamentos y dispositivos médicos. Los datos arrojados por estas aplicaciones son manipulados desde MS Excel manualmente para cada una de las referencias que manejan en el almacén de la Clínica (aproximadamente 5000 referencias registradas en el SI), lo que tiene mayor influencia en la operatividad y demora de las actividades de planeación y gestión de la demanda.

La necesidad de emplear otras fuentes de información no solo radica en el desconocimiento de Servinte, sino también en errores internos que se han encontrado en este y que hace que los resultados y reportes que arroja tengan una confiabilidad muy baja.

5.1.1.1. Cuadro de compras

En este cuadro es donde mes a mes se realiza la planeación de las compras de medicamentos y materiales médico-quirúrgicos. El cuadro de compras es un archivo manejado en MS Excel que se alimenta tanto de Servinte como de la aplicación para suministros alojada en la Intranet, del primero se sacan reportes del inventario y del segundo se extraen los consumos que pueden ser por mes o por año. Cabe anotar que no todos los productos son planeados, pues algunos de estos no se programan por consumo sino que se compran según las necesidades puntuales que vaya teniendo la clínica, este es el caso del material de osteosíntesis que se pide en la medida que se programan cirugías. En la figura 9 se observa una extracción del cuadro de compras mencionado.

Para realizar la planeación de las compras se tiene una serie de datos e información:

- Históricos de los consumos: son los datos de lo que se ha consumido por cada referencia, se tiene registro desde enero de 2011 hasta la fecha. La figura 9 muestra un fragmento de la base de datos en la que se almacenan los históricos.

ARTIC.	NOMBRE COMERCIAL	U/M	COD GRUPO	GRUPO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
M13863	AGUJA STIMUPLEX G20X150MM	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	0	0	5	1	0	0
M13885	AGUJA STIMUPLEX G21X100MM	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	2	3	3	1	2	4
M13886	AGUJA STIMUPLEX G22X50MM	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	19	11	10	10	12	8
M13887	AGUJA STIMUPLEX G24X25MM	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	0	0	1	0	0	1
M13756	AGUJA 18 G 1.5	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	5.169	4.199	4.904	4.104	4.681	4.481
M13757	AGUJA 19 1 1/2	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	16	0	5	3	2	0
M13758	AGUJA 20 G 1	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	1.430	1.225	1.599	1.212	1.594	1.029
M13759	AGUJA 21 X1	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	7.058	6.332	6.839	5.508	7.053	7.002
M13760	AGUJA 22 G 1.5	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	162	219	361	279	229	238
M13761	AGUJA 23 G 1.5	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	30	7	35	9	15	11
M13762	AGUJA 24 G 1	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	121	116	151	99	123	105
M13763	AGUJA 25 5/8	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	0	0	2	2	0	1
M10115	AGUJA 26 G 0.5	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	228	258	281	211	241	234
M13764	AGUJA 27 G 1.5	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	3	6	11	2	9	3
M12915	AGUJA ASPIRACION MEDULA OSEA 15GAX2	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	7	3	8	4	1	0
M14722	AGUJA ASPIRACION MEDULA OSEA 15GAX4 COD.DBMNI 1504	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	0	1	0	0	0	0
M14720	AGUJA ASPIRACION MEDULA OSEA COD.DBMNI 1601	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	0	0	0	0	0	0
M14675	AGUJA BIOPSIA DE HUESO 16 GA X 12.5 CMS REF.OBN16125	UN	100	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO	0	0	0	0	0	0

Figura 9. Base de datos de los consumos históricos de medicamentos y materiales médico-quirúrgicos de la CUB.

Fuente: Área de aprovisionamiento CUB

- Información sobre el inventario: es un reporte arrojado por Servinte, no es totalmente confiable ya que el dato que presenta el sistema de información puede diferir del que se encuentre físico en el almacén, esto ocurre porque el módulo empleado para este fin (suministros) funciona con conceptos de entrada y de salida, es decir, de cargos y devoluciones; los cargos son los consumos de los pacientes, cuando a un paciente se le da de alta o se le cambia el tratamiento y ya tiene asignados algunos medicamentos, éstos se devuelven reintegrándose al inventario; en este proceso se generan algunos errores en las cantidades consumidas y las cantidades devueltas.
- Comportamiento de la demanda: es posible conocer cuáles han sido los consumos por referencia en cualquier momento del mes, esto permite conocer si el comportamiento de la demanda se encuentra dentro del rango promedio o, si por el contrario, el consumo está sobrepasando las existencias y es necesario obtener otra entrega por parte del proveedor o de un distribuidor.

Adicional a lo anterior, es necesario considerar una serie de variables que pueden afectar significativamente el proceso de planeación:

- Demanda de medicamentos: es una variable que fluctúa mucho en el tiempo, los pronósticos que se hacen alrededor de esta no son precisos y por eso es necesario

realizar ajustes durante el periodo de consumo. No tiene una tendencia clara que facilite la aplicación de un modelo de inventario o de una técnica de pronósticos.

- Fechas de corte de los proveedores: algunos proveedores cierran las ventas en una fecha determinada del mes, después de este día ya no reciben órdenes de compras, por lo tanto no hacen entregas. Este es un factor importante a tener en cuenta ya que si la clínica no pide lo que necesita del proveedor antes de la fecha de corte, le toca conseguir los medicamentos por medio de un distribuidor lo que implica un costo mayor.
- Unidades de empaque: algunos de los medicamentos y dispositivos médicos vienen agrupados en unidades de empaque. Es un factor que debe considerarse a la hora de pedir a los proveedores porque esto puede afectar considerablemente la cantidad pedida, además de los costos.
- Pedidos mínimos: es el caso de algunos proveedores que para despachar exigen una cantidad mínima para pedir.
- Disponibilidad de espacio en el almacén
- Cantidad de proveedores: aproximadamente 100.
- Tiempos de entrega de los proveedores: varía según el proveedor, su ubicación, disponibilidad, entre otros. En promedio, los tiempos se encuentran entre 1 y 3 días.

En la figura 10 se observa un fragmento del cuadro de compras que es empleado en la clínica, como se observa está compuesto por los siguientes campos:

- Opción 2012: es el proveedor elegido desde principio de año para realizarle las compras de los productos.
- Total cantidad pendiente por recibir: son las órdenes de compra que están en pie y están pendientes por llegar.
- Inventario: información extraída de Servinte de las existencias en el almacén.

- Consumo promedio de 12 meses: es calculado con los históricos del último año de consumo.
- Consumo hasta la fecha: información que se saca de la herramienta alojada en la intranet, puede ser extraída cualquier día del mes y arroja los consumos hasta ese día.
- Cantidad a pedir sugerida: el cuadro empleado en la actualidad propone una cantidad a pedir para el periodo que se está planeando, emplea fórmulas de un modelo desarrollado por una empresa manufacturera, motivo por el cual esta cantidad no es indicada ni acertada porque no tiene en cuenta el comportamiento de los datos de la clínica.
- Cantidad real a pedir: la encargada de realizar las compras es quien decide qué cantidad va a pedir, no tiene en cuenta la casilla anterior (cantidad a pedir sugerida) porque ésta no arroja un dato preciso. Esta cantidad es colocada manualmente por ella según su criterio, conocimientos y experiencia.

CODIGC	PRODUCTO	OPCION 2012	TOTAL CANT. PEND. POR RECIBIR O.C	INVENTARIO 020113	CONSUMO PROM 12 MESES	Consumo Ene 28	CANTIDAD A PEDIR SUGERID	CANTIDAD REAL A PEDIR
CUB109	AGUA OXIGENADA 120 ML.FCO	HOSPIMEDICOS MEDELLIN S.A	0	10	14	13	0	20
M13863	AGUJA STIMUPLEX G20X150MM	DISTRIMEDICAL S.A.S	0	3	2	0	0	0
M13885	AGUJA STIMUPLEX G21X100MM	DISTRIMEDICAL S.A.S	0	6	5	2	0	0
M13886	AGUJA STIMUPLEX G22X50MM	DISTRIMEDICAL S.A.S	0	10	12	3	0	0
M13887	AGUJA STIMUPLEX G24X25MM	DISTRIMEDICAL S.A.S	0	6	3	0	0	0
M13756	AGUJA 18 G 1.5	INDUSTRIAS CARDIOMED S.A.S	0	715	5.728	3.610	5.013	4000
M13757	AGUJA 19 1 1/2	INDUSTRIAS CARDIOMED S.A.S	0	0	0	0	0	0
M13758	AGUJA 20 G 1	INDUSTRIAS CARDIOMED S.A.S	0	933	1.236	685	0	600
M13759	AGUJA 21 X1	INDUSTRIAS CARDIOMED S.A.S	0	4.776	7.014	2.279	0	3000
M13760	AGUJA 22 G 1.5	INDUSTRIAS CARDIOMED S.A.S	0	392	164	11	0	0
M13761	AGUJA 23 G 1.5	INDUSTRIAS CARDIOMED S.A.S	0	80	14	2	0	0
M13762	AGUJA 24 G 1	INDUSTRIAS CARDIOMED S.A.S	0	30	117	98	87	0
M13763	AGUJA 25 5/8	INDUSTRIAS CARDIOMED S.A.S	0	93	3	0	0	0
M10115	AGUJA 26 G 0.5	INDUSTRIAS CARDIOMED S.A.S	0	239	267	149	0	0
M13764	AGUJA 27 G 1.5	INDUSTRIAS CARDIOMED S.A.S	0	0	0	0	0	0
M12915	AGUJA ASPIRACION MEDULA OSEA 15GAX2	RP MEDICAS S.A.	0	3	2	1	0	0
M14722	AGUJA ASPIRACION MEDULA OSEA 15GAX4 COD.DBMNI	RP MEDICAS S.A.	0	2	2	0	0	0
M14720	AGUJA ASPIRACION MEDULA OSEA COD.DBMNI 1601	RP MEDICAS S.A.	0	0	0	0	0	0
M19242	AGUJA BIOPSIA MEDULA OSEA 11.6 X 6	RP MEDICAS S.A.	0	0	1	0	1	0
M12916	AGUJA BIOPSIA MEDULA OSEA 11GX4"	RP MEDICAS S.A.	0	0	3	2	3	3
M14723	AGUJA BIOPSIA MEDULA OSEA 11GX6 COD.DBMNJ 1106	RP MEDICAS S.A.	0	0	0	0	0	0
M14794	AGUJA BIOPSIA MEDULA OSEA 8GX44 DBMNJ 0804	RP MEDICAS S.A.	0	0	2	0	2	0

Figura 10. Extracción del cuadro de compras empleado en la clínica
Fuente: Área de aprovisionamiento CUB.

5.1.1.2. Proveedores

Entregas: Como se mencionó anteriormente, la planeación de las necesidades de medicamentos y dispositivos médicos se realiza mensual, pero las entregas por parte de los proveedores o distribuidores durante este periodo puede fragmentarse, es decir, se divide la cantidad comprada en 2, 3 e incluso 4 entregas. Esto es empleado ya que el almacén no tiene suficiente capacidad para mantener las necesidades que tiene la clínica durante un mes, además la institución tiene como política tener un inventario para 15 días de consumo.

Política de devolución: esta depende de cada proveedor y/o distribuidor, ya que cada uno maneja tiempos distintos para recibir las devoluciones de medicamentos realizados por parte de la clínica. La fecha límite de entrega tanto de dispositivos como de medicamentos se encuentra en un rango entre uno y tres meses antes del vencimiento. En los casos en que el proveedor no tiene las existencias necesarias para reponer la cantidad que devolvió la clínica, éste hace una nota a crédito para ser utilizada en un momento posterior.

5.1.1.3. Problemas del área de aprovisionamiento

- El sistema de información Servinte posee algunas fallas internas que genera errores en los reportes, trayendo como consecuencias que la información arrojada por éste no sea confiable y obligando a las personas encargadas de las compras a emplear otras herramientas por fuera de Servinte, que tienen un nivel de confiabilidad superior.
- El sistema de información se encuentra subutilizado, al no emplearse todos los módulos con los que el software cuenta, esto se debe a los errores encontrados en el mismo.
- Hay información que únicamente se encuentra en la cabeza de las personas que trabajan en el área, no están documentadas; este es un gran riesgo no solo para el área de aprovisionamiento sino para toda la clínica en general, ya que al irse estas personas se van a llevar mucha información y conocimiento.

- La planeación de las compras es un proceso manual que se realiza en Excel, y se alimenta del sistema de información y de otras herramientas que se encuentran aisladas, el problema radica en la cantidad de tiempo que consume este proceso además de lo importante que es para la institución realizar una adecuada planeación de los medicamentos y materiales médico-quirúrgicos, pues de esta depende la buena prestación de los servicios de la CUB.

5.1.2. Servicio Farmacéutico

El servicio farmacéutico o almacén funciona 24 horas al día, 7 días a la semana. Cuenta con 3 regentes de farmacia que se encargan de recibir las órdenes, interpretarlas y cargarlas a cada paciente; y con 3 auxiliares durante el día y uno en la noche, responsables de preparar los requerimientos de medicamentos para cada persona; son estos últimos quienes continuamente se encuentran en contacto con los medicamentos y dispositivos lo que les permite identificar faltantes e informarle a compras aquellas referencias que están próximas a acabarse. En el almacén se usa un sistema de dispensación por dosis unitarias, en el que se rotulan los medicamentos de manera individual para ser asignados a cada paciente.

El servicio farmacéutico se encarga de abastecer los 3 sub-almacenes que se encuentran ubicados en partes estratégicas de la clínica, este proceso se realiza dos veces en el día: una en la mañana y otra en la noche y se efectúa por reposición, es decir, lo que se va facturando en el día, es lo que se repone.

El almacén está contiguo a aprovisionamiento y dentro de un mismo espacio, pero de manera separada, se da el almacenamiento de medicamentos y materiales médico-quirúrgicos; en la figura 11 se puede apreciar cómo se da el almacenamiento. Para la ubicación en las estanterías y dispositivos de almacenamiento, se emplean dos políticas:

- FEFO (First Expires First Out): significa primero en expirar primero en salir, se emplea esta política porque no todos los productos almacenados tienen el mismo

tiempo de vida útil; no se debe confundir con FIFO (First In First Out – Primero en entrar primero en salir) ya que los primeros productos que ingresan al almacén no necesariamente tienen una fecha de vencimiento más próxima.

- Clasificación: tanto los medicamentos como los dispositivos médicos cuentan con una clasificación definida que permite almacenarlos e identificarlos en el sistema de información. Los medicamentos son clasificados en orden alfabético y por forma farmacéutica, mientras que los dispositivos mediante grupos que reúnen productos según alguna característica. En la sección 5.2 se detallan las clasificaciones.

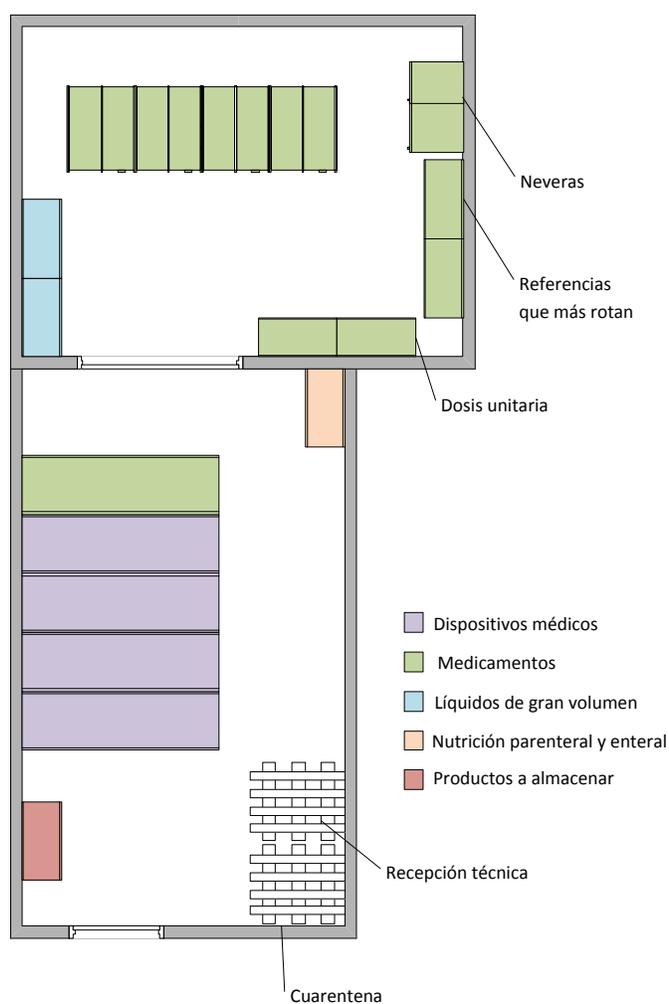


Figura 11. Plano del almacén de la CUB.
Fuente: Elaboración propia

5.1.2.1. *Inventario físico*

Es el proceso que consiste en contar manualmente la cantidad de unidades de cada producto que existen en un almacén, en determinado momento. Este permite garantizar que el saldo de las existencias que figuran en el sistema coincida con la cantidad real de productos dentro del almacén (Deliver – OMS, 2003).

Realizar un inventario físico puede ser una labor tediosa y demorada, que implica grandes esfuerzos operativos de todas las personas relacionadas con el almacén, a pesar de esto es una actividad necesaria y fundamental para la adecuada gestión de las compras. La Clínica Universitaria Bolivariana ha ido implementado un plan para realizar inventarios físicos, durante el 2011 no se realizó ninguno, en el 2012 se hicieron dos conteos generales y para este año se planean realizar 4, uno cada trimestre del año. Adicional, otro plan que desea realizarse es el de comenzar a hacer inventario aleatorios cada 15 días, para tener un mejor control sobre las existencias del almacén.

5.1.2.2. *Problemas del servicio farmacéutico (almacén)*

- Dispositivos médicos: en el mercado se encuentra gran cantidad de marcas de un mismo producto, con algunas características distintas que hacen que se prefiera una marca sobre la otra. Esto ocurre entre los médicos y cirujanos, quienes solicitan la compra de otro dispositivo distinto al que se estaba utilizando porque consideran que es mejor, el producto empleado anteriormente y del cual aún se tienen existencias en el almacén se deja de usar, perdiéndose en algunos casos por vencimiento.
- Tipos de estantería: en el almacén se emplean distintos dispositivos de almacenamiento, como estanterías, neveras, cavas, módulos rodantes. Las cavas, empleadas para guardar medicamentos, tienen un módulo al cual se puede acceder por dos lados para extraer los productos, los medicamentos próximos a vencerse se ubican en uno de los dos lados con el fin de sacar únicamente de este extremo; los auxiliares, en medio del afán, extraen los productos de cualquiera de los lados, aumentando la posibilidad de vencerse aquellos que se encuentran próximos a su fecha de caducidad.

- Sticker rojo: se coloca en aquellos productos que están próximos a expirar (aproximadamente en 6 meses), este sticker indica que deben ser estos los primeros en sacarse del almacén para evitar que caduquen. Muchas veces el sticker se coloca en empaques que contienen varias unidades, al abrirse el empaque, todos los productos contenidos en este quedan sin sticker, por lo tanto no hay forma de saber si el producto está cercano a vencerse. Para identificar estos productos, se reparten entre todas las personas que trabajan en el almacén, grupos de medicamentos y dispositivos, para que se revisen y se reporte mensualmente.
- Préstamos entre instituciones: la CUB se encuentra ubicada cerca a otras dos instituciones prestadoras de servicios de salud, entre las enfermeras de estas instituciones se prestan medicamentos para los pacientes, lo que afecta la gestión del inventario.
- Área del almacén: a pesar de tener una política de mantener solo 15 días de inventario, el almacén no tiene suficiente espacio para realizar todos los procesos que allí deben hacerse. Actividades como recepción técnica y cuarentena, deben hacerse en zonas distintas a las destinadas por la falta de espacio.

5.2. CLASIFICACIÓN DE LOS INVENTARIOS SEGÚN FACTORES

Actualmente, los medicamentos y dispositivos médicos empleados en la Clínica Universitaria Bolivariana cuentan con una clasificación que se emplea tanto en la gestión del día a día de cargo y devoluciones de medicamentos de cada paciente como en el proceso de planear las compras. Dicha clasificación es distinta para medicamentos y para dispositivos médicos.

Los dispositivos médicos se clasifican en grupos, cuyo código corresponde a un número entre el 100 y el 900. Se manejan 14 grupos distintos que agrupan, según la necesidad,

todos los materiales. En la tabla 2 se muestra la categorización y la cantidad de productos que pertenece a cada grupo de los dispositivos médicos.

Tabla 2. Clasificación de los dispositivos médicos

Dispositivos médicos		
Código Grupo	Nombre	Cantidad de productos
100	Agujas, jeringas, cateteres, neuro	254
110	Neuro	8
200	Equipos para admon y succión	53
300	Enfermería	256
320	Terapia respiratoria	116
350	Sondas y tubos	64
400	Apósitos	55
500	Suturas	138
600	Radiología	24
700	Asepsia	27
750	Aseo quirúrgico	36
800	Osteosíntesis	1643
850	Ortopedia - Vendajes	57
900	Laboratorio Clínico	241
Total referencias		2972

Fuente: elaboración propia

Los dispositivos médicos corresponden al mayor número de referencias, pero cabe anotar que los productos de osteosíntesis no son planeados ni almacenados en el almacén principal, ya que estos son comprados de acuerdo a la programación de cirugías.

Por otro lado, la clasificación de los medicamentos se da por grupos que reúne los productos por categoría farmacéutica, el código de cada grupo está compuesto por 3 letras. Los líquidos de gran volumen, las vacunas y nutrición parenteral y enteral también se clasifican dentro del grupo de medicamentos. En la tabla 3 se muestra esta clasificación.

Tabla 3. Clasificación de los medicamentos de la CUB.

Medicamentos		
Código Grupo	Nombre	Cantidad de productos
MAL	Medicamentos	582
ANE	Medicamentos Anestésicos	6
ATB	Medicamentos Antiinfecciosos	145
QUI	Medicamentos Cistostáticos	30
DCT	Medicamentos Control Especial	44
NEV	Medicamentos Cadena de frío	54
POS	Medicamentos Pos	3
MED	Medicamentos Preparados	35
TOX	Medicamentos Toxicología	14
LIQ	Líquidos de gran volumen	26
VAC	Vacunas	22
NPT	Nutrición Parenteral	2
NEN	Nutrición Enteral	60
Total referencias		1023

Fuente: elaboración propia

5.3. VARIABLES CRÍTICAS ASOCIADAS AL SISTEMA DE INVENTARIO

El sistema de inventario tiene un conjunto de variables que se asocian a este, algunas son más críticas para los procesos que otras; se mencionan aquellas que afecten al área de compras y de servicio farmacéutico y que sean susceptibles para ser manipuladas con el presente trabajo.

Las variables son extraídas del diagnóstico realizado a la clínica, en el numeral 5.1 se encuentran mencionadas de manera implícita, en las tablas 4 y 5 se muestran éstas diferenciadas para cada una de las áreas que se han considerado dentro del presente trabajo. Cabe anotar que algunas variables del servicio farmacéutico dependen de aprovisionamiento.

Tabla 4. Variables críticas de aprovisionamiento

Aprovisionamiento	
Tiempos de entrega de los proveedores	Varían dependiendo del proveedor, algunos se encuentran en otras ciudades y éste es mayor.
Planeación de las compras	La demanda es variable periodo o periodo, lo que hace compleja la planeación de ésta
Cantidad de proveedores	Más de 100 proveedores son los que suministran todos los medicamentos y dispositivos médicos.
Punto de reorden	Indica que cuando se tengan 10 días de inventario se debe pedir para abastecer el almacén, es un stock mínimo.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Variable críticas del Servicio Farmacéutico

Servicio Farmacéutico	
Consumos y devoluciones	Es una variable que debe seguirse de manera rigurosa ya que puede afectar el inventario y la gestión del mismo, en la medida en que no se registre el consumo real o la devolución de medicamentos no empleados por pacientes.
Faltantes en el almacén	Al ser la demanda variable, no es posible definir con total certeza la cantidad requerida para el siguiente mes, por eso puede incurrirse en faltantes.
Fechas de expiración	La falta de rotación o el exceso en compras puede generar que algunas referencias lleguen a su fecha de vencimiento sin ser utilizadas.
Rotación de medicamentos y dispositivos	Esta se asocia a la proyección de la cantidad a pedir, en un periodo la rotación de algún medicamento es alta y en el siguiente puede disminuir considerablemente

Fuente: Elaboración propia

6. MODELO DE OPTIMIZACIÓN

El diseño del modelo de optimización se inicia con el diagnóstico realizado y mencionado en el capítulo anterior, de este se elige una de las problemáticas más críticas para la clínica: la planeación de las compras; este es un proceso importante para la adecuada gestión y prestación de servicios por parte de la institución, pero quien la realiza afirma que es una actividad muy tediosa y demorada ya que se realiza de manera manual. A esto se le debe agregar que el método empleado para pronosticar y el modelo de inventario no se adaptan a la situación real de la CUB, pues la herramienta que soporta este proceso se tomó de una empresa manufacturera, en la cual la demanda sigue en comportamiento constante.

La primer parte de la propuesta de solución consiste en la automatización, por medio de macros, del proceso de actualización de la base de datos en la cual se tienen los históricos de los consumos y es manejada en MS Excel; como se ha mencionado a lo largo del trabajo, se sacan reportes de dos herramientas distintas para extraer de allí los datos que son insumo del cuadro de compras. La macro está diseñada para realizar las siguientes tareas:

- Inicia con el reporte de consumo por artículo, que consiste en un cuadro en el cual se tiene la información detallada de todos los movimientos de cada referencia realizada en el mes, tanto de lo que se carga a los pacientes como lo que se devuelve porque hubo cambio de tratamiento o se dio de alta. Este reporte puede ser exportado a Excel.
- Elabora tabla dinámica en MS Excel, con la información extraída del reporte de consumo por artículo, que agrupa las referencias que fueron consumidas durante el mes, desglosando las cantidades que significan cargos a pacientes y las cantidades que son devoluciones.
- Realizar las operaciones correspondientes para determinar el consumo real del mes, es decir, considerando aquellas cantidades que suman (carga) y restan (devoluciones) sacar el consumo real durante el periodo.

- Actualizar la base de datos que contiene los históricos por referencia con el consumo real por periodo que se genera en el paso anterior.

La segunda parte de la propuesta de mejora, realizada también en la macro en MS Excel, arroja una cantidad sugerida a pedir y la posible cantidad que pueden consumirse durante el periodo, es decir, se propone un modelo de inventario y una técnica de pronósticos que sea eficaz a la hora de realizar la planeación de las compras, estos se muestran en los numerales que siguen. En el anexo 1 se encuentra un instructivo para el uso de la macro diseñada.

6.1. TÉCNICA DE PRONÓSTICOS

El proceso para aplicar una técnica de pronóstico consta de 5 pasos (Hanke, Wichern, 2006, p. 5, 6):

- Formulación del problema y recolección de los datos: la identificación del problema permite la selección de los datos adecuados; al considerarse una técnica cuantitativa, los datos más relevantes deben estar disponibles.

El problema a tratar consiste en que no se tiene un modelo adecuado de pronóstico que considere el comportamiento real de la demanda de medicamentos y materiales médico-quirúrgicos, ya que éste puede variar de manera considerable entre un periodo y otro. Los datos ya se encuentran recopilados en una matriz donde se tiene información desde enero de 2011, estos son obtenidos del sistema de información Servinte.

- Manipulación y limpieza de datos: es empleado con frecuencia ya que es común que se tengan pocos o demasiados datos, algunos de los cuales son irrelevantes y deben sacarse, mientras que otros deben considerarse cuando se omiten.

Para este caso no se aplica este paso, ya que todos los datos que se tienen deben considerarse e incluirse en el análisis y pronóstico; recordar que el comportamiento de la demanda es aleatorio.

- Construcción y evaluación del modelo: en este paso se deben adecuar los datos que fueron recogidos a un método de pronóstico para tratarlos buscando el mínimo error posible.

Luego de estudiar y analizar distintas técnicas de pronósticos y los posibles escenarios en que pueden aplicarse, se selecciona el modelo de suavización exponencial, considerando las siguientes razones:

- Es un método de serie de tiempo, en el cual se emplea información histórica que se relaciona con la variable dependiente, asumiendo que el comportamiento de dicha variable en el pasado será similar que en el futuro.
 - Este método es empleado para pronosticar en el corto plazo (menos de 3 meses), el periodo de planeación de la CUB es mensual.
 - La propuesta se está desarrollando en MS Excel, el cual puede soportar la ejecución de este método de pronóstico periódicamente; debe considerarse que se tiene registro de 5000 referencias y que esta cifra puede incrementar en el tiempo. Otras técnicas pueden consumir gran cantidad computacional que el software empleado no puede soportar.
- Aplicación del modelo: es la generación de los pronósticos reales una vez se selecciona el método y se aplica a los datos.

El método se basa en la selección de un valor de α adecuado para realizar un pronóstico acertado, Hanke y Wichern (2006, p. 115) afirman que si se desea que las predicciones sean estables y que las variaciones aleatorias se suavicen, es necesario escoger un valor de α pequeño. Si por el contrario, lo que se desea es obtener una respuesta rápida a un cambio real en el patrón de observaciones, se recomienda emplear un valor de α mayor.

Se selecciona $\alpha = 0,5$ por las siguientes razones: con este valor se minimiza el error cuadrático medio (MSE), se aplica la definición que menciona que un valor de alfa pequeño permite que las variaciones aleatorias se suavicen, y al graficar los valores

reales de la demanda vs. los pronósticos calculados se tiene un comportamiento similar de las gráficas.

El pronóstico se realiza teniendo en cuenta los últimos 24 datos históricos, que se suavizan de manera exponencial, dándole un peso mayor al dato más reciente.

- Evaluación del pronóstico: es comparar los valores pronosticados con los valores históricos reales, además de encontrar el error del pronóstico.

Esta evaluación se realiza en el paso anterior, ya que para elegir α se calculan los pronósticos para diferentes valores, luego éstos son comparados con los datos reales y se encuentra el error del pronóstico MSE.

6.2. MODELO DE INVENTARIO

Se elige un modelo probabilista debido a la demanda variable que tienen los medicamentos y materiales médico-quirúrgicos en la clínica; el modelo de revisión periódica es el que más se ajusta a la situación de la clínica, pues se usa en casos en que el nivel del inventario se revisa en periodos fijos de tiempo, en los cuales se realizan pedidos a los proveedores; para el caso de la CUB el periodo equivale a un mes. El propósito es definir cuántas unidades deben pedirse de cada referencia, luego de conocer el inventario, para satisfacer un nivel de servicio determinado.

Para determinar la cantidad óptima a pedir, se procede a aplicar las ecuaciones presentadas en el numeral 4.3.2.

Para aplicar el modelo, se tiene como propósito garantizar un nivel de servicio del 95%, lo que significa que el valor de la normal respecto al servicio (z) es de 1,64; además se conoce que en promedio, el tiempo de entrega (lead time – L) de los proveedores a la clínica es de 3 días (0,1 mes).

Las otras variables consideradas en el modelo toman los siguientes valores:

$T = 30 \text{ días} = 1 \text{ mes}$ – Tiempo considerado para el pronóstico

$\gamma = 30 \text{ días} = 1 \text{ mes}$ – Tiempo de revisión

7. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN

El modelo de optimización que se elabora en el presente trabajo es desarrollado en MS Excel, lo que facilita que la aplicación en la CUB sea de manera inmediata y no se requiera de herramientas adicionales. La propuesta es entregada a la persona que realiza las compras en la institución, es ésta quien se va a encargar de emplearla en su gestión del día a día, de validar la pertinencia y aplicabilidad de la misma, y de decir qué ajustes debe hacerse con el fin que los datos arrojados se aproximen a la realidad de la clínica.

En la entrega, esta persona afirma que la herramienta es muy útil, ya que le disminuye tiempos de operación cada que realice la planeación de las compras, además le va a permitir hacer seguimiento al comportamiento de la demanda con más facilidad. El procedimiento que emplean en la actualidad para planear puede demorarse entre 4 y 8 horas, en comparación con la herramienta propuesta en el presente trabajo en el que las mismas tareas son realizadas automáticamente en 10 o 15 minutos.

La validación se realiza comparando datos históricos de consumos reales con el cálculo de pronósticos, para esto se eligen 20 referencias que se contrastan para 4 periodos: septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2012. Las proyecciones se calculan con una constante de suavizamiento $\alpha = 0.5$.

Los datos son expuestos en la tabla 6 para los meses de septiembre y octubre y en la tabla 7 para noviembre y diciembre, en ambas tablas pueden observarse los datos del consumo real, del consumo pronosticado, el error del pronóstico y el error absoluto relativo para cada una de las 20 referencias para los 4 periodos.

Tabla 6. Comparación del consumo real con los pronósticos para septiembre y octubre de 2012

Artículo	Septiembre				Octubre			
	Cons real	Pronós	E. pronós	E. abs relativo	Cons real	Pronós	E. pronós	E. abs relativo
AGUJA STIMUPLEX G21X100MM	1	4	-3	314%	7	3	4	63%
AGUJA STIMUPLEX G22X50MM	10	11	-1	8%	10	10	0	4%
AGUJA STIMUPLEX G24X25MM	3	2	1	32%	3	3	0	16%
AGUJA 18 G 1.5	6.049	5.887	162	3%	5.715	5.968	-253	4%
AGUJA 20 G 1	1.028	1.348	-320	31%	1.296	1.188	108	8%
AGUJA 21 X1	6.990	6.909	81	1%	6.498	6.950	-452	7%
AGUJA 22 G 1.5	47	117	-70	149%	29	82	-53	183%
AGUJA 23 G 1.5	13	7	6	49%	9	10	-1	9%
AGUJA 24 G 1	150	134	16	10%	163	142	21	13%
AGUJA 26 G 0.5	291	272	19	7%	311	281	30	10%
AGUJA ASPIRACION MEDULA OSEA 15GAX4 COD.DBMNI 1504	1	2	-1	50%	0	1	-1	
AGUJA BIOPSIA MEDULA OSEA 11GX4"	4	3	1	24%	2	4	-2	76%
AGUJA WHITACRE N25 LUMBAR	146	167	-21	15%	175	157	18	10%
AGUJA WHITACRE N27 LUMBAR	71	70	1	1%	88	71	17	20%
CATETER INTRAVENA N 16 BD CORTO	871	872	-1	0%	830	872	-42	5%
CATETER INTRAVENA N 18	1.430	1.526	-96	7%	1.352	1.478	-126	9%
CATETER INTRAVENA N 20	1.428	1.415	13	1%	1.397	1.421	-24	2%
CATETER INTRAVENA N 22	1.095	913	182	17%	1.007	1.004	3	0%
CATETER INTRAVENA N 24	213	230	-17	8%	242	221	21	9%
CATETER INTRAVENA NEONATAL 24	610	631	-21	3%	683	621	62	9%

Fuente: elaboración propia

Tabla 7. Comparación del consumo real con los pronósticos para noviembre y diciembre de 2012

Artículo	Noviembre				Diciembre			
	Cons real	Pronós	E. pronós	E. abs relativo	Cons real	Pronós	E. pronós	E. abs relativo
AGUJA STIMUPLEX G21X100MM	3	5	-2	60%	6	4	2	35%
AGUJA STIMUPLEX G22X50MM	17	10	7	40%	6	14	-8	127%
AGUJA STIMUPLEX G24X25MM	0	3	-3		2	1	1	31%
AGUJA 18 G 1.5	5.573	5.841	-268	5%	5.045	5.707	-662	13%
AGUJA 20 G 1	885	1.242	-357	40%	913	1.063	-150	16%
AGUJA 21 X1	5.322	6.724	-1.402	26%	4.542	6.023	-1.481	33%
AGUJA 22 G 1.5	48	56	-8	16%	51	52	-1	2%
AGUJA 23 G 1.5	38	9	29	75%	20	24	-4	19%
AGUJA 24 G 1	96	153	-57	59%	38	124	-86	227%
AGUJA 26 G 0.5	259	296	-37	14%	208	278	-70	33%
AGUJA ASPIRACION MEDULA OSEA 15GAX4 COD.DBMNI 1504	0	1	-1		0	0	0	
AGUJA BIOPSIA MEDULA OSEA 11GX4"	1	3	-2	176%	4	2	2	53%
AGUJA WHITACRE N25 LUMBAR	122	166	-44	36%	133	144	-11	8%
AGUJA WHITACRE N27 LUMBAR	111	79	32	28%	62	95	-33	54%
CATETER INTRAVENA N 16 BD CORTO	816	851	-35	4%	719	833	-114	16%
CATETER INTRAVENA N 18	1.288	1.415	-127	10%	1.350	1.352	-2	0%
CATETER INTRAVENA N 20	1.341	1.409	-68	5%	1.274	1.375	-101	8%
CATETER INTRAVENA N 22	961	1.005	-44	5%	878	983	-105	12%
CATETER INTRAVENA N 24	294	232	62	21%	217	263	-46	21%
CATETER INTRAVENA NEONATAL 24	620	652	-32	5%	608	636	-28	5%

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Cálculo del error del pronóstico por distintos métodos

Artículo	MAD	MSE	MAPE	MPE
AGUJA STIMUPLEX G21X100MM	0,40	9,3	118%	-69%
AGUJA STIMUPLEX G22X50MM	0,48	26,2	44%	-24%
AGUJA STIMUPLEX G24X25MM	0,18	2,3	20%	
AGUJA 18 G 1.5	255,33	150.215,7	6%	-5%
AGUJA 20 G 1	179,90	66.056,8	24%	-20%
AGUJA 21 X1	813,29	1.092.076,4	17%	-16%
AGUJA 22 G 1.5	32,89	1.949,5	87%	-87%
AGUJA 23 G 1.5	7,59	217,8	38%	24%
AGUJA 24 G 1	26,57	2.831,9	77%	-66%
AGUJA 26 G 0.5	14,50	1.868,1	16%	-8%
AGUJA ASPIRACION MEDULA OSEA 15GAX4 COD.DBMNI 1504	0,62	0,5	13%	
AGUJA BIOPSIA MEDULA OSEA 11GX4"	0,05	2,7	82%	-44%
AGUJA WHITACRE N25 LUMBAR	14,43	707,8	17%	-12%
AGUJA WHITACRE N27 LUMBAR	4,05	599,9	26%	-1%
CATETER INTRAVENA N 16 BD CORTO	48,07	4.010,9	6%	-6%
CATETER INTRAVENA N 18	87,72	10.325,2	7%	-7%
CATETER INTRAVENA N 20	45,16	3.911,5	4%	-3%
CATETER INTRAVENA N 22	8,85	11.553,5	8%	0%
CATETER INTRAVENA N 24	5,11	1.672,7	15%	0%
CATETER INTRAVENA NEONATAL 24	4,57	1.533,1	6%	-1%

Fuente: elaboración propia

El MAPE es el más utilizado para medir la precisión de los pronósticos, éste calcula cómo el promedio de los datos pronosticados se desvía de los datos reales. Como se observa en la tabla 8, para algunos productos el MAPE puede ser muy elevado, por ejemplo para la aguja stimuplex g21x100mm, para la cual es de 118%. En otros productos como cateter intravena n 18 los errores son mucho más bajos, esto ocurre porque es un dispositivo médico comúnmente empleado y su comportamiento y consumo será similar mes tras mes.

Se debe tener en cuenta que algunos productos pueden variar su comportamiento considerablemente entre un mes y otro, por eso a lo largo del periodo se deben realizar revisiones para determinar si el comportamiento de los productos se encuentra dentro del rango. Es común que un medicamento que un mes fue muy utilizado y rotó mucho, el próximo no sea empleado tanto, y viceversa.

8. CONCLUSIONES

La herramienta emplea como técnica de pronósticos un suavizamiento exponencial y como modelo de inventario uno de revisión periódica, la elección de estos se da basándose en la situación real y actual de la clínica, la cual puede cambiar en cualquier momento a raíz de la incertidumbre y de aspectos internos y externos que hacen que los consumos fluctúen; por esto debe realizarse un seguimiento a la herramienta e ir adaptando según se vaya modificando la situación y el comportamiento de la demanda.

Una macro en Excel permite automatizar tareas que son repetitivas, para la CUB la planeación de las compras se realiza de manera periódica (cada mes), siendo este un proceso iterativo que en la actualidad requiere de operatividad y tiempo para ser ejecutado; por esto se diseña una macro que soporte el proceso de planeación. El empleo de la herramienta desarrollada trae varios beneficios para la institución, entre los que se encuentran: disminución en los tiempos de operatividad a la hora de planear las compras mensuales de la Clínica, los resultados o datos que arroja son basados en históricos y en el comportamiento real de la demanda de los medicamentos y materiales médico-quirúrgicos, esto último a su vez permite ir definiendo un patrón o comportamiento real de la demanda, conociendo aquellas referencias que suelen tener periodos atípicos para que se revisen con mayor rigurosidad. Por otro lado, esta solución también trae algunos puntos en contra como la utilización de herramientas por fuera del sistema de información Servinte.

El sistema de información de la CUB se encuentra subutilizado, este debe ser empleado como un centralizador de datos y de información, lo cual no ocurre al utilizar otras herramientas externas para poder realizar la gestión de algunas áreas de la clínica. Esta subutilización se traduce en mayor operatividad y demora en la realización de algunas tareas.

El correcto manejo de los inventarios se ve reflejado en el nivel de servicio de una organización, una adecuada política permite tener una cantidad de productos óptima de manera que no se incurra en sobrecostos por exceso de inventario y mucho menos que se generen faltantes. Esta última situación es crítica para la Clínica Universitaria Bolivariana, ya que un faltante podría poner en riesgo la vida de un paciente. Para

seleccionar un sistema de inventario, es necesario conocer cómo es la demanda, cómo se comporta y qué políticas se tienen dentro de la organización que deben considerarse, como la capacidad del almacén, inventario de seguridad, entre otros.

Un método de pronóstico y una política de inventario no son suficientes para conocer con certidumbre el comportamiento real de la demanda, y menos en una clínica en la que los servicios prestados son muchos, las necesidades de los pacientes cambian constantemente y el número de referencias de medicamentos y dispositivos médicos es elevado; también es necesario que el personal encargado de las compras y del servicio farmacéutico tengan conocimientos y experiencia suficiente que hagan más acertada la gestión de estas áreas.

9. RECOMENDACIONES

Gestionar el conocimiento es una herramienta que permite preservar la información y el conocimiento dentro de una institución. Algunos procesos en la Clínica Universitaria Bolivariana no se encuentran documentados, de igual forma mucha información importante para la gestión del área de compras tampoco lo está, es conveniente que datos, información y conocimiento no se encuentre solo en la cabeza de las personas que trabajan en las áreas, sino que también existan documentos físicos que la soporten para lograr replicar el conocimiento, evitando pérdidas importantes cuando las personas salgan de la institución.

Se deben diseñar y emplear herramientas y métodos teniendo en cuenta el comportamiento de la demanda y el tipo de organización. Para el caso del área de aprovisionamiento de la CUB, emplear herramientas desarrolladas por una empresa del sector manufacturero ha dificultado considerablemente la gestión de las compras de la clínica, ya que los datos que estas arrojan difieren o muchas veces no son cercanos a la situación real, requiriendo de mayor tiempo y experiencia para determinar la información útil y que puede emplearse para realizar los procesos del área.

La herramienta desarrollada y suministrada a la clínica debe seguirse monitoreando por unos meses para garantizar que las técnicas empleadas realmente sean las que se ajustan al comportamiento de la demanda de la CUB, debe tenerse en cuenta que dicho comportamiento puede cambiar en cualquier momento a raíz del componente de aleatoriedad que tiene, modificando o aumentando considerablemente el error del pronóstico y de la cantidad a ordenar que son arrojados por Excel.

Podría considerarse la aplicación de un sistema de inventario de revisión continua, en la que se tenga una cantidad fija para ordenar pero un punto de reorden variable, esto permitiría minimizar la cantidad de faltantes que se den pero se puede incurrir en mayores gastos al tener que ordenar más veces en un periodo fijo como un mes, y en mayor operatividad al tener que recopilar, organizar y analizar más veces la información.

10. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, S., Amaya, C. & Velasco, N. (2007). Logística Hospitalaria. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.

Alvarado, A. (2007). Organización y sistematización del almacén de medicamentos de una organización no gubernamental de servicios de salud. Tesis para optar al Título de Contador público y Auditor, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Amelot, M. (2010). VBA Excel 2010. Programación en Excel: Macros y Lenguaje VBA. España: Ediciones ENI.

Anderson, D., Sweeney, D. & Williams, T. (2004). Métodos cuantitativos para los negocios. México: Thomson Learning.

Anónimo (2008). Dispensación de Medicamentos. 53 Congreso Nacional de la Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria. Revista Farmacia Hospitalaria. Extraída el 20 de octubre de 2012, de: http://www.sefh.es/fh/113_121v32nEsp.Congreso005.pdf

Arbones, E. (1989). Optimización industrial (II): Programación de recursos. España: Productica.

Calderón, B. (1985). Introducción a la simulación. Simulación de sistema de inventarios. Medellín: ASIDUA

Carbajal, J., Martínez, D. (2010). Reporteador para la toma de decisiones en una planta ensambladora de bicicletas. Tesis para optar al Título de Ingeniero Informático, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas, Instituto Politécnico Nacional, México.

Deliver en colaboración con la Organización Mundial de la Salud (2003). Directrices para el almacenamiento de los medicamentos esenciales y otros insumos básicos sanitarios. Arlington: John Snow, Inc.

Díaz, J., Muñoz, I., León, A. & Camacho, N. (1998). Implementación del sistema de distribución de medicamentos en dosis unitarias en un hospital público. Revista colombiana de ciencias químico-farmacéuticas, N° 27, 21-23.

Farahvash, P. & Altiok, T. (S.F.). Multi-Period Inventory Models with Multi-Dimensional Procurement Bidding. Obtenida el 17 de mayo de 2012 de http://ie.rutgers.edu/resource/research_paper/paper_07-017.pdf

Gómez, L., Amaya, C. & Velasco, N. (2012). Política de inventarios para la bodega central y farmacias auxiliares del Hospital Universitario Clínica San Rafael. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.

González, F.J. (1999). Breve Introducción a la Investigación de Operaciones. México: Editorial Universitaria Potosina.

Hanke, J. & Wichern, D. (2006). Pronósticos en los negocios (8va Edición). México: Pearson Educación.

Hillier, F. & Lieberman, G. (2002). Investigación de Operaciones (7ª Ed.). México: McGraw Hill.

Hospital Regional Universitario Carlos Haya, Málaga – España. Extraída el 20 de octubre de 2012, de: <http://www.carloshaya.net/InforCorporativa/UnidadesdeGesti%C3%B3nCI%C3%ADnica/UGCFarmacia/AreaDosisUnitaria.aspx>

Jiménez, A., Guerrero, J., Velasco, N. & Amaya, C. (2007). Optimización de los recursos de los hospitales: revisión de la literatura sobre logística hospitalaria. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.

Juvany, R., Sevilla, D., de la Peña, M., Leiva, E., Perayre, M. & Jódar, R. (2007). Optimización de la calidad del proceso de dispensación de medicamentos en dosis unitaria mediante la implantación del sistema semiautomático Kardex®. Farmacia Hospitalaria, Vol 31, N°1, 38-42.

Krajewski, L., Ritzman, L. & Malhotra, M. (2008). Administración de operaciones: Procesos y cadenas de valor (8va edición). México: Pearson Educación.

Moya, M.J. (1990). Investigación de operaciones. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia.

Ngai, T., Poon, J., Suk, F. & Ng, C. (2009). Design of an RFID-based Healthcare Management System using an Information System Design Theory. [Resumen]. InformationSystemsFrontiers, vol 11, N° 4, 405-417.

Perú, Ministerio de Salud, Dirección General de medicamentos, Insumos y Drogas (2007). Norma técnica de salud: sistema de dispensación de medicamentos en dosis unitaria para los establecimientos del Sector Salud. Lima: Ministerio de Salud.

Poveda, J.L., García, C., Hernández, M. & Valladolid, A. (2003). Análisis coste-beneficio de la implantación de los sistemas automáticos de dispensación de medicamentos en las Unidades de Críticos y Urgencias. Farmacia Hospitalaria, Vol 27, N°1, 4-11.

Ramos, A. & Vitoriano, B. (S.F.). Modelos matemáticos de optimización. Obtenida el 28 de julio de 2012, de http://www.iit.upcomillas.es/aramos/presentaciones/t_mmo_M.pdf

Ramos, A., Sánchez, P., Ferrer, J., Barquín, J. & Linares, P. (2010). Modelos matemáticos de optimización. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.

Riff, M. (2003). Investigación de Operaciones II.

Sánchez, M., Abad, E., Salvador, A. & De Frutos, A. (2001). Dispensación con intervención posterior: reposición de stock (sistemas automatizados). Farmacia Hospitalaria. 449-463.

Taha, H. (2004). Investigación de Operaciones (7ª Ed.). México: Pearson Educación.

Tejada, F. (2011). Nuevos avances en la dispensación de medicamentos. RevistaSalud, vol 7, N°26. Extraído el 2 de octubre de 2012, de <http://www.revistaesalud.com/index.php/revistaesalud/article/view/39/70>

Universidad de los Andes (s.f). Producción y Logística (PYLO). Obtenida el 1 de mayo de 2012, de <http://ingenieria.uniandes.edu.co/grupos/pylo/>

Vega, M. & Ríos, W. (2001). Administración de inventarios: teoría y práctica. Valdivia: Universidad Austral de Chile.

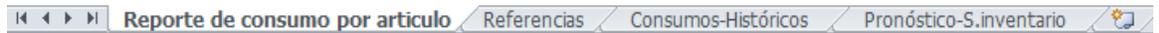
Winston, W. (2005). Investigación de Operaciones: Aplicaciones y Algoritmos (4ª Ed.). México: Thomson.

Zafra, J., Isla, B. & Del Prado, J. (2012). Efecto de un sistema automático de dispensación de medicamentos sobre el gasto farmacéutico y el grado de satisfacción del usuario. Enfermería Global, 25, 250-261.

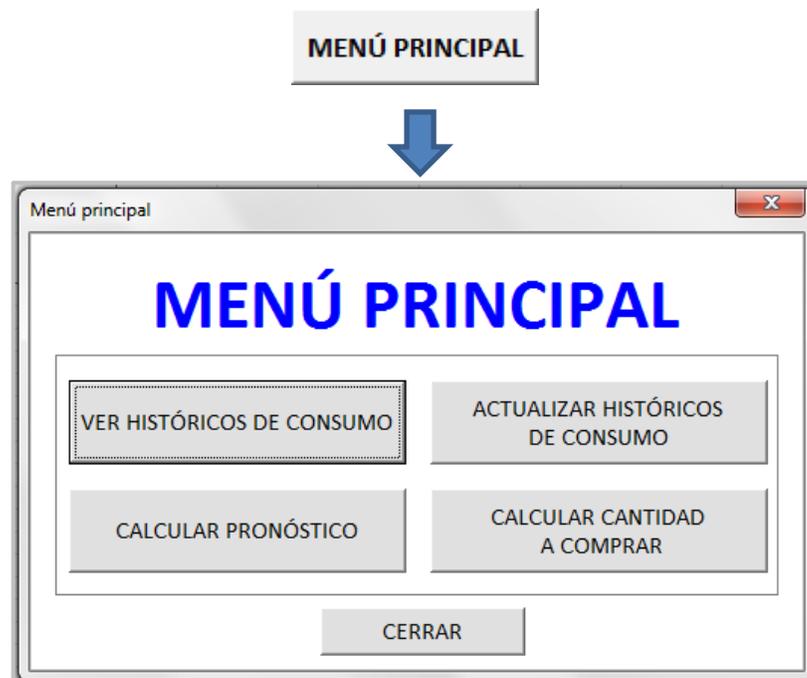
Zapata, D. (2011). Investigación de operaciones. Apuntes de clase. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia: Apuntes no publicados

ANEXO 1. Instructivo para el uso de la aplicación diseñada

- A** Generar el reporte de consumo por artículo desde Servinte, exportarlo a Excel y desde allí pegarlo en la primera hoja que aparece y que lleva el mismo nombre.



- B** Presionar el botón “menú principal” que aparece en la parte superior de esta misma hoja (este botón también se encuentra en otras hojas para acceder al menú). El botón y el formulario de menú principal se pueden observar en las figuras mostradas a continuación:



- C** Luego de tener abierto el menú principal, se debe seguir un orden específico para que la aplicación realice el proceso adecuadamente, pues el resultado de algunas tareas es insumo para otras. El orden es como se muestra a continuación:

1

VER HISTÓRICOS DE CONSUMO

Este botón no realiza ninguna operación, solo permite entrar a la base de datos en la cual se almacenan los históricos desde enero de 2011. Esta base de datos se encuentra en la pestaña “Consumos-Históricos” y se visualiza así:

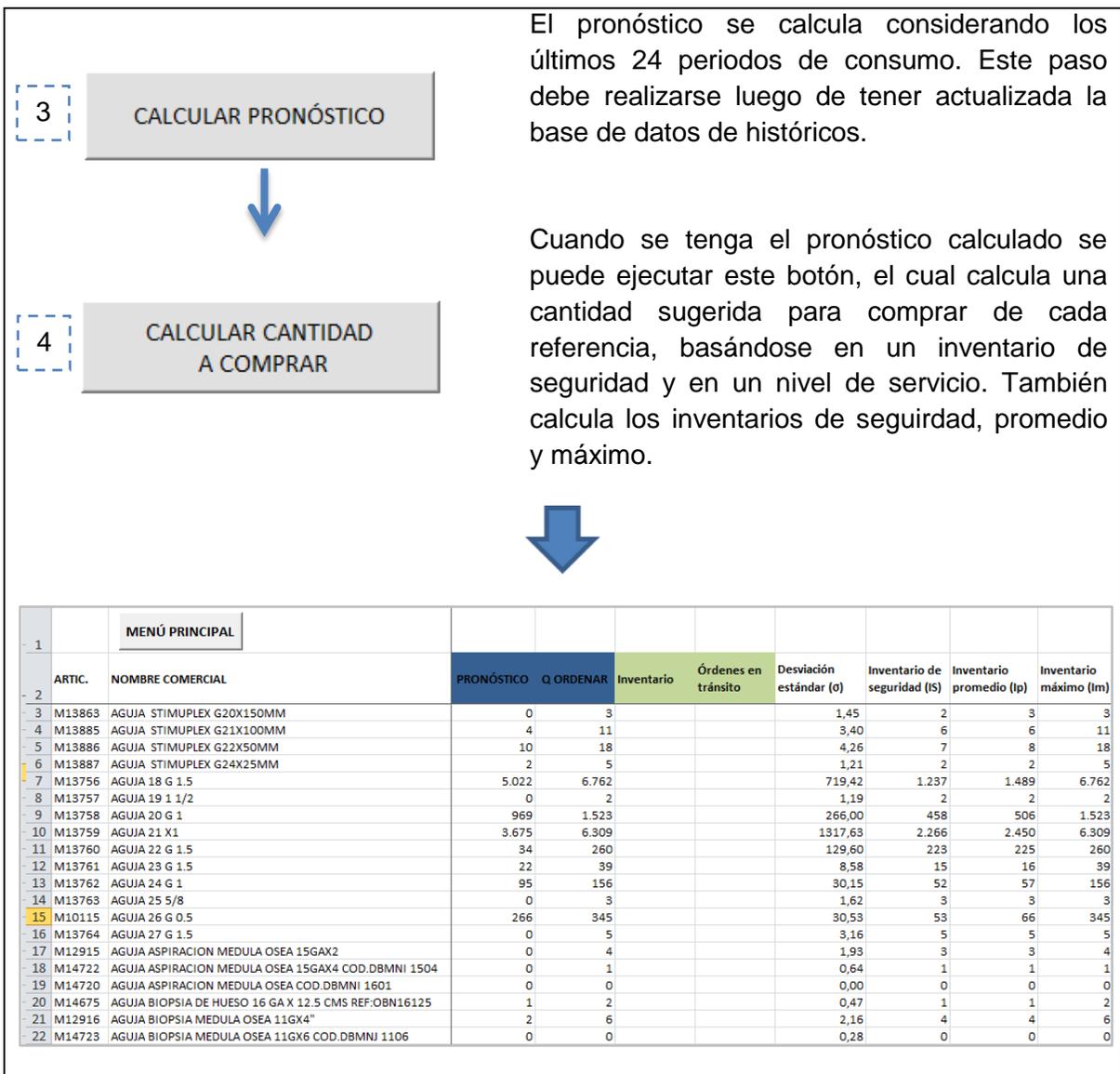


MENÚ PRINCIPAL															
ARTIC.	NOMBRE COMERCIAL	GRUPO		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE
3	M13863 AGUJA STIMUPLEX G20X150MM	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		0	0	5	1	0	0	0	0	0	4	2	4
4	M13885 AGUJA STIMUPLEX G21X100MM	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		2	3	3	1	2	4	4	4	3	7	14	5
5	M13886 AGUJA STIMUPLEX G22X50MM	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		19	11	10	10	12	8	10	12	15	23	15	19
6	M13887 AGUJA STIMUPLEX G24X25MM	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		0	0	1	0	0	1	1	3	1	2	2	1
7	M13756 AGUJA 18 G 1.5	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		5.169	4.199	4.904	4.104	4.681	4.481	4.284	5.175	4.447	4.304	4.203	4.033
8	M13757 AGUJA 19 1 1/2	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		16	0	5	3	2	0	0	0	0	0	0	0
9	M13758 AGUJA 20 G 1	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		1.430	1.225	1.599	1.212	1.594	1.029	969	1.147	831	1.378	1.117	1.131
10	M13759 AGUJA 21 X1	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		7.058	6.332	6.839	5.508	7.053	7.002	6.395	7.955	6.717	6.803	6.237	6.247
11	M13760 AGUJA 22 G 1.5	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		162	219	361	279	229	238	85	170	373	419	278	264
12	M13761 AGUJA 23 G 1.5	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		30	7	35	9	15	11	23	13	17	23	8	11
13	M13762 AGUJA 24 G 1	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		121	116	151	99	123	105	91	131	113	124	103	71
14	M13763 AGUJA 25 5/8	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		0	0	2	2	0	1	3	0	0	0	0	3
15	M10115 AGUJA 26 G 0.5	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		228	258	281	211	241	234	211	271	253	291	240	190
16	M13764 AGUJA 27 G 1.5	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		3	6	11	2	9	3	4	2	0	0	7	0
17	M12915 AGUJA ASPIRACION MEDULA OSEA 15GAX2	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		7	3	8	4	1	0	0	1	0	0	0	0
18	M14722 AGUJA ASPIRACION MEDULA OSEA 15GAX4 COD.DBMNI 1504	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	M14720 AGUJA ASPIRACION MEDULA OSEA COD.DBMNI 1601	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	M14675 AGUJA BIOPSIA DE HUESO 16 GA X 12.5 CMS REF:OBN16125	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	M12916 AGUJA BIOPSIA MEDULA OSEA 11GX4"	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		7	4	7	5	1	0	0	0	0	0	0	0
22	M14723 AGUJA BIOPSIA MEDULA OSEA 11GX6 COD.DBMNI 1106	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
23	M14721 AGUJA BIOPSIA MEDULA OSEA COD.DBMNI 13025	AGUJAS,JERINGAS,CATET,NEURO		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2

ACTUALIZAR HISTÓRICOS DE CONSUMO

Actualiza la base de datos de los históricos del botón anterior. Para emplearlo primero se debe haber actualizado la pestaña “Reporte de consumo por artículo”; de este reporte saca los datos, los organiza y pega en la base de datos.



El pronóstico y la cantidad a ordenar se calculan en una misma hoja llamada “Pronóstico-S.inventario”, las celdas que están rellenas de color verde son datos que se extraen del sistema de información en reportes y deben ingresarse manualmente para que el sistema de inventario arroje un resultado más acertado.

ANEXO 2. Código de la macro diseñada

MACRO PARA ACTUALIZAR LA BASE DE DATOS DE HISTÓRICOS

```
Private Sub actualizar_histo_Click()  
Application.ScreenUpdating = False  
Sheets("Reporte de consumo por articulo").Select
```

'Tabla dinámica, filtro: conceptos

```
ActiveWorkbook.PivotCaches.Create(SourceType:=xlDatabase, SourceData:= _  
"Reporte de consumo por articulo!R1C1:R1048576C11", Version:= _  
xlPivotTableVersion14).CreatePivotTable TableDestination:= "", TableName:="Tabla  
dinámica1", DefaultVersion:=xlPivotTableVersion14
```

```
ActiveWindow.ScrollColumn = 2
```

```
ActiveWindow.ScrollColumn = 3
```

```
With ActiveSheet.PivotTables("Tabla dinámica1").PivotFields("CONC")
```

```
.Orientation = xlColumnField
```

```
.Position = 1
```

```
End With
```

```
With ActiveSheet.PivotTables("Tabla dinámica1").PivotFields("CODIGO")
```

```
.Orientation = xlRowField
```

```
.Position = 1
```

```
End With
```

```
ActiveSheet.PivotTables("Tabla dinámica1").AddDataField ActiveSheet.PivotTables _  
("Tabla dinámica1").PivotFields("CANTIDAD"), "Cuenta de CANTIDAD", xlCount
```

```
With ActiveSheet.PivotTables("Tabla dinámica1").PivotFields("Cuenta de  
CANTIDAD")
```

```
.Caption = "Suma de CANTIDAD"
```

```
.Function = xlSum
```

```
End With
```

```
ActiveWindow.ScrollColumn = 4
ActiveWindow.ScrollColumn = 5
ActiveWindow.ScrollColumn = 6
ActiveWindow.ScrollColumn = 7
ActiveWindow.ScrollColumn = 8
```

```
ActiveSheet.Name = "Tabla dinámica"
```

'Cálculos sobre la tabla dinámica, consumo total.

```
Columns("A:I").Select
Selection.Copy
Sheets.Add After:=Sheets(Sheets.Count)
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("A1").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.ClearContents
Range("B1").Select
Selection.ClearContents
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Concepto"
Range("A2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Código"
Range("A1:I2").Select
Selection.Font.Bold = True

Columns("D:D").Select
Selection.Insert Shift:=xlToRight, CopyOrigin:=xlFormatFromLeftOrAbove
Range("D2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Devolución"
Range("I2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Cargue"
```

```

Range("D3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-2]+RC[-1]"
Range("D3").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("D3:D3000")
Range("D3:D1480").Select
Range("I3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-4]+RC[-3]+RC[-2]+RC[-1]"
Range("I3").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("I3:I3000")
Range("I3:I3000").Select
Range("K2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Total consumo"
Range("K2").Select
Selection.Font.Bold = True
Range("K3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "="+RC[-2]-RC[-7]"
Range("K3").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("K3:K3000")
Range("K3:K3000").Select

ActiveSheet.Name = "T.dinámica"

```

'Actualización de cuadro de históricos. ConsultaV

```

Sheets("Referencias").Select
Range("C2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 =
    "=IF(ISERROR(VLOOKUP(RC[-
2],T.dinámica!R1C1:R1048576C11,11,FALSE)),0,VLOOKUP(RC[-
2],T.dinámica!R1C1:R1048576C11,11,FALSE))"
Range("C2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("C2:C5305")

```

```

Range("C2:C5305").Select

For i = 6 To 1000

If Sheets("Consumos-Históricos").Cells(3, i) = "" Then
Selection.Copy
Sheets("Consumos-Históricos").Select
Sheets("Consumos-Históricos").Cells(3, i).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

i = 1001

End If

Next

Application.DisplayAlerts = False
ThisWorkbook.Sheets(Array("Tabla dinámica", "T.dinámica")).Delete
Application.DisplayAlerts = True

Selection.NumberFormat = "#,##0"

menu.Hide

End Sub

MACRO SISTEMA DE INVENTARIO

Private Sub cantidad_ordenar_Click()

Application.ScreenUpdating = False

```

NS = 0.95 'Nivel de servicio
Z = 1.64 'Valor de la normal respecto al NS
L = 0.1 'Lead-time, tiempo de entrega
T = 1 'Tiempo considerado para el pronóstico
y = 1 'Tiempo de revisión

For i = 3 To 6000

If Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(i, 1) = "" Then

m = i

i = 6001

End If

Next i

For j = 3 To m

'Desviación estándar

prom = (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 6) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 7) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 8) + _
Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 9) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 10) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 11) + _
Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 12) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 13) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 14) + _
Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 15) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 16) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 17) + _
Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 18) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 19) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 20) + _

Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 21) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 22) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 23) + _
 Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 24) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 25) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 26) + _
 Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 27) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 28) + Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 29) / 24

Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 37) = (((Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 6) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 7) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 8) - prom) ^ 2 + _
 (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 9) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 10) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 11) - prom) ^ 2 + _
 (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 12) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 13) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 14) - prom) ^ 2 + _
 (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 15) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 16) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 17) - prom) ^ 2 + _
 (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 18) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 19) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 20) - prom) ^ 2 + _
 (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 21) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 22) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 23) - prom) ^ 2 + _
 (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 24) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 25) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 26) - prom) ^ 2 + _
 (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 27) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 28) - prom) ^ 2 + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 29) - prom) ^ 2) / 24) ^ 0.5

'Inventario de seguridad

Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 38).Select

Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 38) = (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 37) * Z) * (((L + y) / T)) ^ 0.5

Range("AL3:AL6000").Select

Selection.NumberFormat = "#,##0"

'Calcular el inventario promedio

Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 39) = ((Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 31) / 2) * L) + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 38))

Range("AM3:AM6000").Select

Selection.NumberFormat = "#,##0"

'Inventario máximo

Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 40) = (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 31) * (y + L)) + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 38))

Range("AN3:AN6000").Select

Selection.NumberFormat = "#,##0"

'Calcular la cantidad a ordenar

```
Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 32) = Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 40) - Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 36) - Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 35)
```

```
Range("AF3:AF6000").Select  
Selection.NumberFormat = "#,##0"
```

```
Next j
```

```
menu.Hide
```

```
End Sub
```

MACRO PARA CALCULAR LOS PRONÓSTICOS

```
Private Sub pronostico_Click()
```

```
Application.ScreenUpdating = False
```

'Borrar la primera columna de históricos, el pronóstico siempre se genera sobre 24 periodos.

```
Sheets("Pronóstico-S.inventario").Select  
Columns("F:F").Select  
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
```

'Insertar columna al final para últimos consumos

```
Columns("AC:AC").Select  
Selection.Insert Shift:=xlToLeft, CopyOrigin:=xlFormatFromLeftOrAbove
```

```

Sheets("Consumos-Históricos").Select
Selection.Copy
Sheets("Pronóstico-S.inventario").Select
Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(3, 29).Select

```

```

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

```

'Cálculo de los pronósticos con método de suavización exponencial simple

```

For j = 3 To 6000

```

```

If Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(j, 1) = "" Then

```

```

n = j

```

```

j = 6001

```

```

End If

```

```

Next j

```

```

For k = 3 To n

```

```

a = 0.5

```

```

Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 31) = _
(Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 29) * a) + (Sheets("Pronóstico-
S.inventario").Cells(k, 28) * (1 - a) * a) _
+ (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 27) * (1 - a) ^ 2 * a) + (Sheets("Pronóstico-
S.inventario").Cells(k, 26) * (1 - a) ^ 3 * a) _
+ (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 25) * (1 - a) ^ 4 * a) + (Sheets("Pronóstico-
S.inventario").Cells(k, 24) * (1 - a) ^ 5 * a) _
+ (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 23) * (1 - a) ^ 6 * a) + (Sheets("Pronóstico-
S.inventario").Cells(k, 22) * (1 - a) ^ 7 * a) _

```

+ (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 21) * (1 - a) ^ 8 * a) + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 20) * (1 - a) ^ 9 * a) _
+ (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 19) * (1 - a) ^ 10 * a) + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 18) * (1 - a) ^ 11 * a) _
+ (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 17) * (1 - a) ^ 12 * a) + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 16) * (1 - a) ^ 13 * a) _
+ (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 15) * (1 - a) ^ 14 * a) + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 14) * (1 - a) ^ 15 * a) _
+ (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 13) * (1 - a) ^ 16 * a) + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 12) * (1 - a) ^ 17 * a) _
+ (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 11) * (1 - a) ^ 18 * a) + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 10) * (1 - a) ^ 19 * a) _
+ (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 9) * (1 - a) ^ 20 * a) + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 8) * (1 - a) ^ 21 * a) _
+ (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 7) * (1 - a) ^ 22 * a) + (Sheets("Pronóstico-S.inventario").Cells(k, 6) * (1 - a) ^ 23 * a)

Range("AE3:AE6000").Select
Selection.NumberFormat = "#,##0"

Next k

menu.Hide

End Sub