



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Modelo basado en escenarios para la determinación de tamaño y frecuencia de envío de medicamentos oncológicos. Caso aplicado al sector farmacéutico en la ciudad de Medellín.**

**BRENDA ELLEN PATINO RIVERA. II**

**Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería de la Organización  
Medellín, Colombia  
2014**

**Modelo basado en escenarios para la determinación de tamaño y frecuencia de envío de medicamentos oncológicos. Caso aplicado al sector farmacéutico en la ciudad de Medellín**

**BRENDA ELLEN PATINO RIVERA. II**

**Trabajo Final presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Magister en Ingeniería – Ingeniería Administrativa**

**Director:**

**Doctor MARTIN DARIO ARANGO SERNA**

**Codirector:**

**Doctor WILSON ADARME JAIMES**

**Línea de Investigación:**

**Línea de Investigación de Logística y Producción**

**Grupo de Investigación:**

**Gestión de la Cadena de Abastecimiento**

**GICO (Grupo de I+D+I Logística Industrial – Organizacional)**

**Universidad Nacional de Colombia**

**Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería de la Organización**

**Medellín, Colombia**

**2014**

# DEDICATORIA

“Con todo mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento”.

Papá y Mamá

# AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus agradecimientos:

A Martín Darío Arango Serna, Ph.D. profesor titular del Departamento de Ingeniería de la Organización, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia y Director de este Trabajo Final. De quien he recibido no sólo su apoyo en el aspecto conceptual, sino en aspectos relacionados con la motivación y comprensión en todo momento y siempre estuvo presto a impulsar, orientar y atender mis observaciones con ese interés del maestro, para que de mi parte lograra alcanzar esta meta.

A Conrado Augusto Serna, Calificado para Ph.D. profesor de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura. Por su colaboración en la elaboración del modelo, la configuración, edición y revisión de este trabajo.

A Wilson Adarme Jaimes, Ph.D. profesor del Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y Codirector de este Trabajo Final. Por su paciencia y apoyo en la elaboración del proyecto de las IPSs.

Debo reconocer y agradecer la ayuda y colaboración de todas aquellas personas que han apoyado mi trabajo y quienes con toda seguridad han contribuido a la terminación de esta tarea.

Y finalmente, mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de este camino, siempre ayudándome a mantener la ilusión en todo instante.

## Contenido

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE TABLAS .....	7
LISTA DE GRAFICAS.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
CAPITULO 1 .....	11
Generalidades .....	11
1.1 Control de inventarios .....	12
1.2 Naturaleza de la demanda.....	17
1.3 Comportamiento de la demanda manejada con programación estocástica .....	19
CAPITULO 2 .....	21
Cadena de suministro de medicamentos.....	21
2.1 Logística Hospitalaria.....	22
2.2 Metodología para determinar necesidades de medicamentos esenciales .....	26
2.3 Descripción del tratamiento oncológico en una IPSs .....	27
CAPITULO 3 .....	30
Generalidades del Sector Farmacéutico .....	30
3.1 Problemas detectados en el Sector.....	33
3.2 Caracterización del Servicio Oncológico en la ciudad de Medellín.....	37
3.2.1 Descripción de trabajo en campo.....	37
3.2.2 Análisis de la encuesta.....	38
3.2.3 Hallazgos encontrados en los resultados de las encuestas.....	44
3.2.4 Observaciones generales de la encuesta .....	45
3.2.4.1 Gestión de compras .....	45
3.2.4.2 Recepción de Medicamentos .....	46
3.2.4.3 Almacenamiento de Medicamentos:.....	47
3.2.4.4 Distribución o Dispersión de intrahospitalaria: .....	47
3.2.4.5 Costos logísticos operativos .....	47
3.3 Conclusiones de la caracterización.....	48
CAPITULO 4 .....	49
4.1 Formulación del modelo determinístico.....	50
4.2 Formulación del modelo estocástico .....	51

4.2.1 Análisis de escenarios.....	52
4.2.2 Modelo estocástico de dos etapas.....	53
4.2.3 Aplicación de los Modelos .....	56
4.3 Análisis de resultados: .....	61
4.3.1 Resultados del modelo determinístico.....	61
4.3.2 Resultados del modelo estocástico: .....	62
CONCLUSIONES.....	69
Conclusiones generales.....	69
Conclusiones asociadas a la metodología.....	69
BIBLIOGRAFIA .....	71
ANEXO 1. FORMATO ENCUESTA	
ANEXO 2. COMPILACIÓN DEL MODELO EN GAMS	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Departamentos de una organización que intervienen en el control de inventarios	12
Figura 2: Objetivo del inventario .....	13
Figura 3. Actividades funcionales de una cadena de suministro .....	14
Figura 4 Gestión de compras .....	16
Figura 5: Inventario y modelos de acuerdo al comportamiento de la demanda .....	18
Figura 6: Cadena de abastecimiento de medicamentos oncológicos.....	22
Figura 7: Pasos de un entidad de salud pedir medicamentos al proveedor .....	23
Figura 8: Ciclo de Gestión de Medicamentos. ....	24
Figura 9: Ciclo del pedido por paciente de acuerdo a su tratamiento.....	28
Figura 10: Gestión de compras.....	28
Figura 11: Áreas de la Salud. ....	30
Figura 12. Actores que intervienen en el sector farmacéutico .....	31
Figura 13. División en periodos del horizonte de planificación.....	52
Figura 14: árbol de escenarios .....	53
Figura 15: Árbol de escenarios para el medicamento Tasigna.....	58
Figura 16: Árbol de escenarios para el medicamento Exjade .....	59
Figura 17: Árbol de escenarios para el medicamento Sandostatina .....	60

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Descripción del ciclo de gestión de medicamentos.....	25
Tabla 2: Antecedentes del Sector Salud en Colombia.....	32
Tabla 3: Trabajos reciente de modelos aplicados al sector farmacéutico.....	36
Tabla 4: Entidades Evaluadas.....	38
Tabla 5. Laboratorios a nivel mundial.....	46
Tabla 6: Restricciones del modelo determinístico.....	51
Tabla 7: Restricciones del modelo estocástico de dos etapas.....	55
Tabla 8: Medicamentos por un solo proveedor. ....	56
Tabla 9: Niveles de demanda con datos discretos .....	57
Tabla 10: Parámetros del modelo .....	61
Tabla 11: Resultados del modelo determinístico.....	62
Tabla 12: Resultados de la etapa 1 del modelo estocástico.....	63
Tabla 13: Resultados del modelo estocástico del medicamento Tasigna.....	64
Tabla 14: Resultados del modelo estocástico del medicamento Exjade .....	64
Tabla 15: Resultados del modelo estocástico del medicamento Sandostatina .....	65
Tabla 16: Resumen de medicamento por escenario más probable .....	67
Tabla 17: Paralelo comparativo entre los modelos determinístico y estocástico. ....	68

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Calificación de 1 a 5 para la selección de proveedor .....	39
Gráfica 2. Nivel de satisfacción con proveedores .....	39
Gráfica 3. Porcentaje para identificación de necesidades de Centros Distribuidores .....	40
Gráfica 4. Porcentaje para identificación de necesidades para IPSs. ....	40
Gráfica 5. Promedio de pedidos adicionales que realizan las entidades encuestadas .....	41
Gráfica 6. Frecuencia de criterio de negociación .....	41
Gráfica 7. Porcentaje de frecuencia de modalidad de compra. ....	42
Gráfica 8. Porcentaje de uso de los tipos de clasificación de medicamentos en el almacenamiento. ....	42
Gráfica 9. Porcentaje de uso de los factores de distribución en bodega.....	43
Gráfica 10. Porcentaje de uso en las diferentes políticas de distribución.....	44
Gráfico 11: Costo y Probabilidad del medicamento Tassigna .....	66
Gráfico 12: Costo y Probabilidad del medicamento Exjade .....	66
Gráfico 13: Costo y Probabilidad del medicamento Sandostatina .....	66
Gráfico 14: Costo esperado por escenario de los tres productos .....	67



# INTRODUCCIÓN

El presente trabajo ayuda a mejorar la eficiencia de las actividades llevadas a cabo en la gestión de compra de medicamentos oncológicos. Su importancia radica en organizar, planificar y controlar el conjunto de medicamentos oncológicos en las entidades sanitarias con el fin de brindar un servicio de atención eficiente a los usuarios, a través de una buena gestión de la cadena de suministro de medicamentos. En particular se tiene en cuenta la diferencia entre demanda prevista en un determinado horizonte y la demanda real, cuya reducción es clave para evitar generación de inventarios en exceso y/o alcanzar los niveles de servicio de los clientes que son determinantes en el éxito de las empresas (Mena et al, 2006).

Dentro del contexto de las organizaciones sanitarias se deben adoptar nuevas estrategias para gestionar de un modo más eficiente su actividad logística, optimizando de este modo los niveles de existencias, las rutas de reparto y la dimensión requerida por los almacenes hospitalarios, propios o subcontratados que pueden estar dispersos geográficamente (Kim, 2005). Al mismo tiempo con proveedores en zonas alejadas provocando plazos de entrega más dilatados. Por lo tanto, las empresas deben esforzarse por hacer que sus productos y servicios estén a disposición de sus consumidores, así como mantener a los médicos bien informados sobre los nuevos medicamentos (Whittemore y Division, 2004).

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto de COLCIENCIAS llamado: Propuesta metodológica para la definición de políticas, reglas de negociación y coordinación en la gestión de abastecimiento de los medicamentos oncológicos en Colombia. Código: 1101-521-28420. Investigador Principal: Wilson Adarme Jaimes. A través de la caracterización del servicio oncológico y sus hallazgos se puede proponer una metodología para mejorar las provisiones de medicamentos tanto en los laboratorios como en las IPSs, de tal manera que permita mejorar el desempeño de las operaciones logísticas y realizar procesos basados en diferentes escenarios en el control de la variabilidad de la demanda (Kovács et al, 2013). Ya que los lineamientos de evaluación del manejo de inventario permite hacer una mejor determinación de necesidades y mejorar los niveles de inventarios en la gestión de la cadena de suministros (Arango, 2010).

En este trabajo se presentan los elementos más relevantes sobre el control de inventarios y la administración de la cadena de abastecimiento de medicamentos oncológicos como trabajo de grado para optar al título de Magister en Ingeniería Administrativa. El objetivo general de este trabajo es determinar el tamaño y frecuencias de pedidos de medicamentos considerando los diferentes escenarios que pueden surgir en la gestión de los procesos de compra en una IPS oncológica en la ciudad de Medellín. El análisis de los diferentes

escenarios se realizará a través de la programación estocástica bajo la modelación de escenarios con parámetros de incertidumbre.

Los objetivos específicos propuestos para lograr el objetivo general del trabajo son:

- Revisar la literatura científica existente para identificar modelos, técnicas y herramientas para la gestión de la variabilidad de demanda y tiempos de suministros aleatorios en el sector farmacéutico.
- Definir un modelo de gestión de inventarios que se adapte a los requerimientos de los centros de distribución de medicamentos oncológicos que faciliten satisfacer la demanda.
- Validar que el modelo propuesto facilite optimizar los costos logísticos operativos entre los distribuidores de medicamentos oncológicos.

Este trabajo de grado se inicia con las generalidades del inventario presentado en el capítulo 1, siguiendo con una descripción de la cadena de abastecimiento de medicamentos capítulo 2, se continúa con una descripción del sector farmacéutico seguido de una caracterización de los servicios oncológicos en las IPSs de la ciudad de Medellín en el capítulo 3. Luego para terminar en el capítulo 4 en donde se muestra un modelo determinístico y un modelo estocástico de dos etapas mediante escenarios para determinación de necesidades de pedidos de medicamentos oncológicos en una IPS, y finalmente las conclusiones.

# CAPITULO 1

## Generalidades

La administración de inventarios es la aplicación de procedimientos y técnicas que tienen como objetivo poner y mantener las cantidades más ventajosas de inventarios, minimizando los costos que generan (Arango, 2010). Uno de los más grandes desafíos internos que enfrentan las organizaciones de hoy es manejar una adecuada gestión de los inventarios, que sirven para comprometer la operación y supervivencia de la empresa, es por esto que la gerencia debe formular políticas que busquen una gestión eficaz de estos valiosos recursos (Gutiérrez y Vidal, 2008). La gestión de un sistema de inventarios es una actividad transversal a la cadena de abastecimiento que constituye uno de los aspectos logísticos más complejos en cualquier sector de la economía (Gutiérrez y Vidal, 2008), en donde el interés de las organizaciones es la necesidad de mantener niveles de inventario óptimos para satisfacer la demanda sobre un horizonte de tiempo específico (Taleizadeh y Nematollahi, 2014). Permitiendo que la administración logística de la cadena de abastecimiento dé respuesta a múltiples preguntas que van desde la ubicación de cada uno de los centros de almacenamiento y la distribución de los mismos hasta el control y mantenimiento de inventarios (Hernández et al., 2007). Para Shah y Gor (2009) los problemas de inventario que involucran decisiones tales como ¿Cuándo hacer pedido? ¿En qué cantidad? se hace cada vez más difícil en un entorno globalizado, con una amplia diversidad de productos e incertidumbre en la demanda hacen que jueguen un papel importante. De acuerdo con Arshinder et al., (2011) los factores a tener en cuenta para el comportamiento de la demanda (determinística o estocástica) dentro de la Cadena de suministro (SC), es el tiempo de espera para reaprovisionamiento, el horizonte de planeación, los costos, la ubicación geográfica y el *Lead time*.

Uno de los recursos más utilizados en la gestión de inventarios y que ayuda a resolver muchos de estos problemas es la investigación de operaciones que son las técnicas cuantitativas que permiten tomar decisiones típicas con respecto a los inventarios (Graves S. et al., 1993). Por su parte el desarrollo de sistemas computacionales integrados como el *Enterprise Resource Planning* (ERP), aplican parte de los conceptos fundamentales de la gestión, junto con numerosas metodologías que velan por alcanzar la máxima eficiencia en las empresas, como el *Total Process Management* (TPM), *Just In Time* (JIT) y la filosofía LEAN, las cuales buscan mejorar el desempeño dentro de las organizaciones (Zapata, 2011). Actualmente las organizaciones se encuentran bajo un ambiente de competencia en donde solo los actores fuertes son capaces de enfrentarse a constantes cambios. Los

sistemas de control de costos corresponden a una categoría especial que incluye los costos de operación considerando costos por adquisición, almacenamiento, mantenimiento y costos intangibles relacionados con el personal tales como capacitaciones, interpretación de resultados, entre otros (Silver et al., 1997).

### 1.1 Control de inventarios

El control de inventario es una técnica que permite mantener la existencia de los productos a los niveles deseados Everett et al., (1991), y en la planeación y ejecución de un inventario intervienen diferentes departamentos o áreas de una organización como en la figura 1 se muestra:



Figura 1: Departamentos de una organización que intervienen en el control de inventarios  
Fuente: Elaboración Propia

Los elevados niveles de existencias y los faltantes son problemas frecuentes en la operación de una organización. En la siguiente Figura 2 se muestra un resumen de los objetivos principales de una organización.

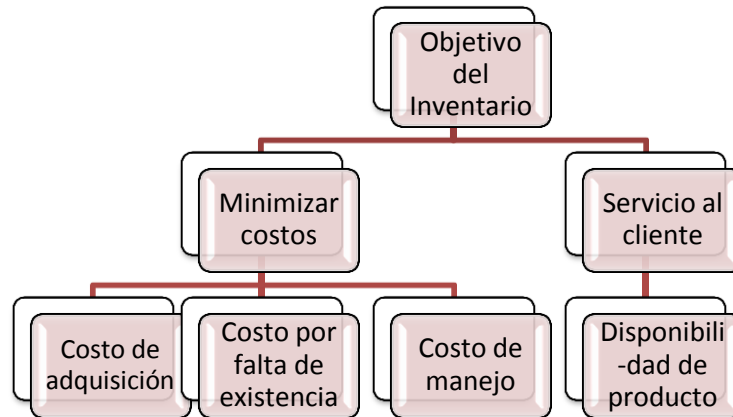


Figura 2: Objetivo del inventario  
Elaboración propia

El objetivo principal del control de inventarios es la satisfacción al cliente y minimizar los costos, entonces se define que:

- **Servicio al cliente:** La disponibilidad o la confiabilidad del cumplimiento en cierto plazo, para responder a los requerimientos del cliente.
- **Minimizar costos:** Mantener inventarios tienen un costo asociado a los costos de operación y manejo.
  - **Costos de adquisición:** Decisión de compra de acuerdo a los niveles de inventarios y a los requerimientos inmediatos.
  - **Costos de manejo de inventario:** Cada medicamento que se encuentra ubicado en el almacén representa un costo de almacenamiento.
    - Costos de Envío, Mantenimiento y Posesión
    - Costos por Ordenar o por Comprar
    - Costos por Variación de Precios
  - **Costos por falta de existencias:** Se refieren al costo de no contar con el medicamento cuando este se requiere y donde se requiere.

Para lograr la satisfacción al cliente, es necesario estudiar toda la cadena de suministro del producto en donde intervienen actividades funcionales o eslabones tales como transporte, control de inventarios, almacenamiento, distribución, etc., como se muestra en la figura 3, en donde el ciclo se repiten mediante la transformación de las materias primas en producto

terminado y se añade valor para el consumidor a través de los eslabones de la cadena de suministro.

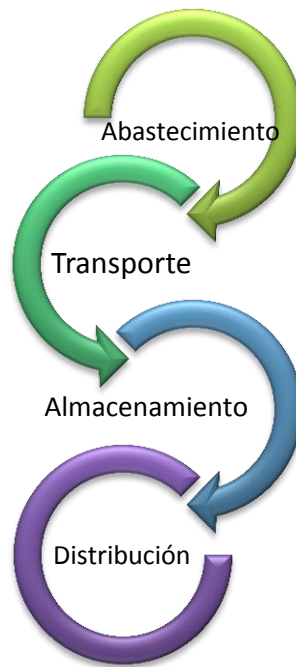


Figura 3. Actividades funcionales de una cadena de suministro  
Fuente: Elaboración Propia

- El abastecimiento es el proceso responsable de adquirir todos los materiales requeridos por una organización y cuyos objetivos son el aseguramiento de los procesos de suministro, minimización del inventario, mejora de la calidad, gestión de proveedores, y la minimización de los costos totales (Adarme, 2011). En este campo se utilizan modelos de gestión de inventarios que soportan decisiones operacionales entre estos se desarrollan actividades para determinar la cantidad a comprar, el tamaño de la orden de compra, la frecuencia y a quién comprar. Dichas actividades se relacionan con el dimensionamiento y control de inventarios, en donde los métodos más ampliamente aceptados, difundidos y aplicados en el contexto logístico corresponden a: el modelo de cantidad de lote económico (EOQ), el algoritmo de *Wagner-Whittin*, la heurística de *Silver-Meal*, *lot for lot* y la programación lineal *LP* (Vidal, 2005).

- Para el éxito de realizar un buen abastecimiento se debe hacer una buena gestión de compras la cual comprende los procesos de adquisición de materias primas, suministros y componentes para una organización (Bayter, 2008). Algunas actividades se mencionan a continuación:
  - Selección y evaluación de proveedores
  - Políticas de compras de producto
  - Comparar precio, calidad y servicio
  - Programar compras
  - Políticas de entrega de producto

Teniendo en cuenta que el área de compras ocupa una posición importante dentro de las organizaciones, las reducciones de costo obtenidas en la adquisición de producto o materiales puede tener un gran impacto en las utilidades dentro de la organización.

En los sistemas de suministro, los modelos de control de inventarios más comunes que pueden utilizarse según Bayter (2008) son:

- Compra anual: un modelo de revisión periódica de un nivel con un intervalo.
- Compra programada: un modelo de revisión periódica en el que los pedidos se cursan a intervalos fijados (por ejemplo, semanales, mensuales, trimestrales, semestrales), con variaciones de uno o dos niveles.
- Compra continua: un modelo de dos niveles en el que los niveles de existencias se revisan cada vez que se hace una entrega de existencias (o al menos semanalmente) y los pedidos se cursan siempre que las existencias descienden por debajo de un nivel mínimo establecido.

En la Figura 4 se muestra un resumen de la gestión de compras la cual está dada por algunos factores que ayudan a medir el mercado: “Tener el producto adecuado, en el momento adecuado, en el lugar adecuado, al costo adecuado”.



Figura 4 Gestión de compras  
Elaboración propia

En general siempre existirán clientes más exigentes, avances en la tecnología, competitividad entre otros, que exigirán tener mayor velocidad de entrega del servicio y mejores precios en la mayoría de los casos.

- El transporte es un componente vital en el diseño y administración de un sistema logístico dentro de la cadena de suministro ya que éste tiene un porcentaje alto de inversión en los costos totales de operación. Para el transporte, un sistema poco desarrollado caso que suele ocurrir en países en desarrollo se limita a las áreas que rodean en forma cercana de producción. Se tiene entonces cinco modos de transporte (aéreo, terrestre, ferroviario, marítimo y por ductos), así como sus combinaciones (Ballou, 2004).
- Para el almacenamiento se tiene en cuenta decisiones tales como espacio y manejo de materiales, además de la ubicación general del almacén. Las principales decisiones incluyen la configuración de las instalaciones, la disposición de espacio, la selección de los sistemas de manejo de materiales, localización e identificación de inventarios y equipos entre otros.
- La distribución del producto se considera a partir de la localización del almacén principal y sus clientes, los tiempos de entrega y los sistemas de entrega que maneje la organización para la satisfacción del cliente. La distribución en un hospital es una cuestión importante cuando el administrador desea reducir los costos de operación (Philippe et al., 1994). Es por ello que las incertidumbres surgen principalmente de cuatro factores: la demanda, la elaboración, fracaso y tiempos de mantenimiento (Akif et al., 1998).



Por tanto las empresas manufactureras y de servicios tienen entre sus intereses la recuperación de la inversión o recuperación de los activos invertidos en todo el sistema de la cadena de suministro. Cuando la demanda varía, se requiere de alguna protección contra los altos costos que se originan al no tener existencias, de ahí que se recomienda tener un inventario de seguridad como protección para estos desabastecimientos.

Para esto hay que tener una buena administración de inventarios a través de la aplicación de procedimientos y técnicas que tienen como objetivo mantener las cantidades necesarias mediante una adecuada abastecimiento mediante una gestión de compras (Nicholson et al., 2004).

## **1.2 Naturaleza de la demanda**

La naturaleza de la demanda si se observa en una línea de tiempo, tiene una función importante para determinar cómo se controlan los niveles de inventario, algunos tipos de demanda pueden ser irregulares, perpetuos, estacionales entre otros (Ballou, 2004). En la literatura se han propuesto diferentes modelos para abordar el problema de incertidumbre en la demanda. Da ahí que se han presentado diferentes trabajos que han utilizado varios métodos tales como regresión lineal el cual sirve para investigar y modelar la relación entre variables, métodos de simulación que sirven para hacer una relación entre la matemática y lógica permitiendo visualizar comportamientos de un sistema a través de largos periodos y corridas. Si bien el inventario está en función del comportamiento de la demanda, se presenta en la siguiente figura 5 un resumen de modelos o herramientas que se puede medir estos comportamientos.

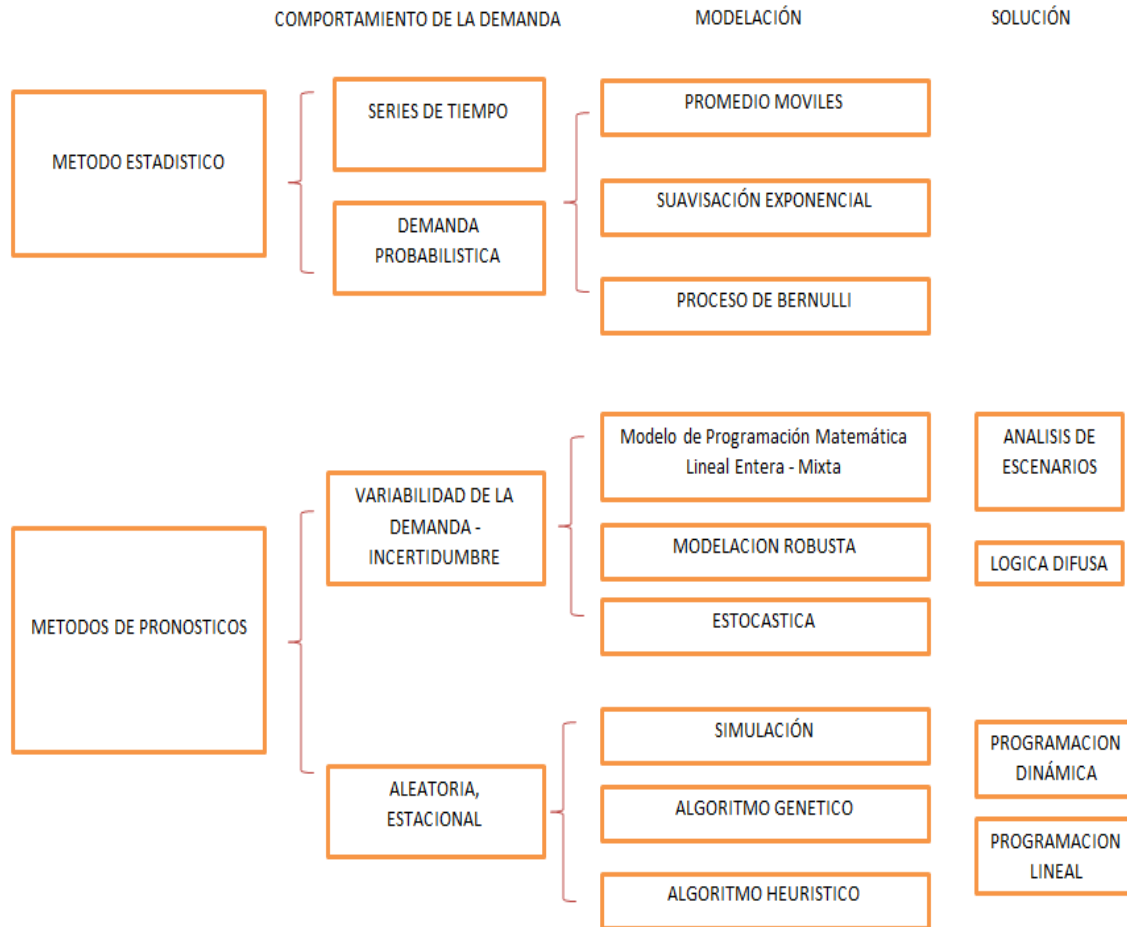


Figura 5: Inventario y modelos de acuerdo al comportamiento de la demanda  
Fuente: Elaboración propia

Estos modelos son usados para el modelamiento de la demanda y posibles herramientas para solucionar problemas. Aunque existe un completo conjunto de modelos y métodos de solución para dar soporte a las decisiones del sistema de inventarios, no existe una metodología clara y unificada que brinde dicho soporte (Gutiérrez y Vidal, 2008). Algunos de los modelos revisados por Gutiérrez y Vidal, (2008) resuelven de manera práctica el problema de estimación de políticas de control, pero en ocasiones la separación de las problemáticas no permite lograr mejoramientos globales, sino que se centran en la búsqueda de óptimos en cada una de las ramas de estudio.

En el campo de los pronósticos o predicciones de la demanda, existen también comportamientos de variación de alta y baja rotación se puede utilizar series de tiempo como una buena herramienta para realizar análisis estadísticos y también otras herramientas como la simulación de Montecarlo para predecir los niveles de demanda aleatorias (Snyder et al., 2004). Otra forma es una metodología general basada en optimización robusta para enfrentar el problema de control óptimo de cadenas de abastecimiento sujetas a demandas

estocásticas en tiempos discretos (Bertsimas y Thiele, 2006).

Entre los autores que han desarrollado con mayor detalle la aplicación de pronósticos a sistemas de inventarios son Vidal (2005) y Silver et al., (1997) entre otros. El pronóstico es una de las actividades más importantes para mejorar la productividad y la calidad en una organización, porque la mayor parte de los resultados son muy influyentes en la toma de decisiones de gestores y en el evaluó del desarrollo de una empresa (Mena et al., 2006). El trabajo presentado por Choudhary y Shankar (2013) propone un modelo de programación lineal entera para determinar simultáneamente los tiempos de adquisición, tamaños de lote, proveedores y transporte para ser elegidos con el fin de minimizar el costo total sobre el horizonte de planificación. Para (King y Wallace, 2007) resolvieron distribuciones discretas por medio de programas estocásticos. El trabajo de Helber y Sahling (2010) analiza la política de ordenamiento óptimo en el sistema de inventario Comprador - Vendedor cuando las entradas son a la azar. Xiao et al., (2012) trabajan varias técnicas de búsqueda local para resolver los problemas de tamaño de lote con pedidos multinivel. Huang y Küçükyavuz (2008) presentan varias etapas de formulación de programación estocástica para problemas de tamaño de lote en donde los costos, la demandas y los tiempos de entrega de pedidos tienen un proceso estocástico de tiempo discreto con soporte finito a través de un algoritmo de programación dinámica y un árbol de escenarios. Hammami et al., (2014) trabajan el problema de entero mixto con el método de programación estocástica basado en escenarios, cuyo objetivo es minimizar el costo total esperado del sistema (precio de compra más costo de inventario más costo transporte más gastos de gestión de proveedores).

En algunos casos la planificación de la cadena de suministro se maneja mediante modelos de optimización matemática, que pueden ser representados como problemas lineales. Sin embargo la optimización determinista tradicional no es válida para representar el comportamiento dinámico de la gestión de la cadena de suministro, por tal razón hay que considerar la incertidumbre (Francisco et al, 2001).

### **1.3 Comportamiento de la demanda manejada con programación estocástica**

Desde sus inicios la programación estocástica (SP) ha encontrado varias aplicaciones diversas como un paradigma eficaz para decisiones de modelado bajo incertidumbre (Parpas, 2006). Las demandas de los clientes, los límites de inventario y los costos están sujetos a la incertidumbre y son dependientes entre sí a lo largo del horizonte de una planificación finita. Muchos problemas de decisión contienen incertidumbre como los acontecimientos en el pasado que no se conocen con exactitud debido a errores en la medición o dificultades en la toma de muestras o sobre eventos en el futuro que no pueden ser conocido con certeza (Tarim et al., 2006).

Para el manejo de inventarios, existen y se han desarrollado modelos y metodologías para llegar a soluciones óptimas de cantidad de pedido, para ello se han realizado estudios para determinar la demanda a través de programación estocástica, por ejemplo Hammami et al. (2014) presenta un modelo basado en escenarios para seleccionar proveedores con múltiples compradores, teniendo en cuenta la incertidumbre en la tasa de cambio de la moneda e intervalos de descuento por cantidad de producto. Según Huang y Küçükyavuz (2008) presentan una formulación con programación estocástica de varias etapas con problemas de tamaño de lote en donde los costos, la demanda y los tiempos de entrega de pedidos tienen un proceso estocástico de tiempo discreto a través de un algoritmo de programación dinámica y un árbol de escenarios. Guan y Liu (2010) estudia la versión estocástica de los problemas de tamaño de lote con límites de inventarios y capacidad de pedido. Calafiore y Fagiano (2013) presenta una estrategia de un horizonte que retrocede, la cual implica la solución iterativa de un problema de control de horizonte finito basado en escenarios en cada paso de tiempo. Karuppiyah et al., (2010) abordan el problema de resolver modelos de optimización multi-escenario que son equivalentes determinísticos para programas estocásticos de dos etapas. El trabajo de Akif et al., (1998) desarrolla un nuevo modelo *LP* de demanda estocástica basado principalmente en un problema determinista de dos etapas, utilizando una demanda estocástica de distribución normal en un método de aproximación discreta. Cuando los resultados del proceso estocástico son independientes del modelo de optimización, es posible crear un conjunto finito de eventos, de los cuales los costos son el resultado de los posibles estados asociados a una probabilidad de ocurrencia.

La mayoría de procedimientos de planificación y programación asumen datos determinísticos o trabajan con valores promedio (Chen et al., 2002). Es evidente que el error en el que se incurre al no considerar la demanda como una variable aleatoria puede mostrar unos costes importantes debidos a la falta o al exceso de capacidad que se presenta al no coincidir la realidad con la previsión o incluso que la solución obtenida resulte finalmente ser no factible. También hay que tener en cuenta que la inclusión de modelos de programación estocásticos no es una tarea fácil en términos de modelado y solución. La programación estocástica mediante la optimización escenarios es un instrumento adecuado para tratar la incertidumbre (Parpas, 2006). El modelo de planificación debe proporcionar las decisiones a tomar en cada uno de los estados posibles. Este trabajo se concentrará en la planificación de la cadena de suministro en el ámbito de compra, disponibilidad y coste que incorporará funciones estocásticas para representar la incertidumbre mediante el análisis de escenarios con parámetros de incertidumbre.

## CAPITULO 2

### Cadena de suministro de medicamentos

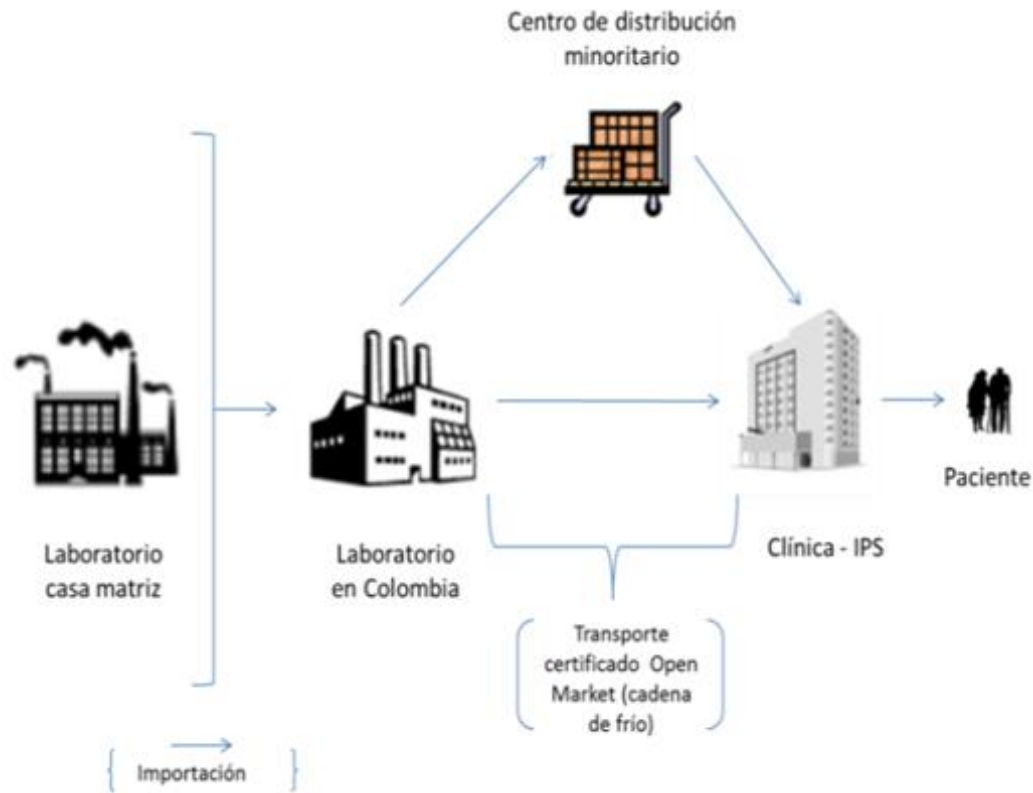
Una cadena de suministro puede definirse como un proceso integrado donde varias entidades de negocios trabajan juntos para producir bienes, servicios, etc., (Sousa et al., 2011). El término *Supply Chain Management* SCM se ha utilizado para explicar la planificación y control de los materiales y flujos de información, así como las actividades de logística, no sólo al interior de una empresa, sino también externamente entre las empresas (Chen et al., 2004).

En un sistema desarrollado de la SCM permite a los hospitales mejorar los procesos de adquisición y control de inventario de productos farmacéuticos (Kim, 2005; Kang y Kim, 2010). Estos productos representan una gran parte de los costos en la industria farmacéutica debido a los costos significativos de estos productos tales como su almacenamiento y sus requisitos de control (Kelle et al., 2012). En las cadenas de suministro farmacéutico han comenzado a ser acopladas con tecnologías sofisticadas con el fin de mejorar tanto la cantidad como la calidad de sus productos asociados (Yost, 2005). La gestión y optimización de la cadena de suministro es un aspecto crítico de las empresas modernas y un área de investigación floreciente (Papageorgiou, 2009), que permite a las empresas ofrecer información técnica al mercado, y para recibir retroalimentación relacionados con la calidad y el rendimiento de sus servicios y productos de otras empresas y clientes (Pedroso y Nakano, 2009; Aronsson et al., 2011).

Los productos farmacéuticos representan una gran parte de los costos en la industria de la salud debido a los altos costos y sus requisitos de almacenamiento y de control (Uthayakumar y Priyan, 2013). Las entidades de salud experimentan dificultades en la gestión de su cadena de suministro farmacéutica *Pharmaceutical Supply Chain* (PSC), la cual se integra con todas las actividades asociadas con el flujo y la transformación de los medicamentos desde la materia prima hasta el usuario final (Aptel y Pourjalali, 2001).

A pesar de todos los avances en los métodos de fabricación, almacenamiento y distribución de ciertas compañías farmacéuticas no son efectivas al satisfacer las demandas del mercado (Masoumi et al., 2012). Este mercado de medicamentos es uno de los más complejos, debido a la cantidad de actores involucrados y la diversidad de papeles que estos desempeñan en el proceso que va desde la producción hasta el consumo (Tobar, 2008). De hecho se ha argumentado que las cadenas de suministro de medicamentos farmacéuticas están en la necesidad urgente de técnicas de optimización eficientes a fin de reducir los costos y aumentar la productividad y capacidad de respuesta (Shah, 2004). Como resultado,

sólo una cantidad limitada de la capacidad de producción, espacio o presupuesto puede estar disponible en un tipo de producto, y esta capacidad puede variar con el tiempo debido a la estacionalidad de los productos (Guan y Liu, 2010). En la siguiente Figura 6. Se muestra la cadena de abastecimiento de medicamentos, desde su proveedor hasta el usuario final.



**Figura 6: Cadena de abastecimiento de medicamentos oncológicos**  
 Fuente: Elaboración Propia

Dentro del sistema la adquisición de medicamentos implica varios pasos tales como la cuantificación, el abastecimiento, fijación de precios y garantizar la entrega oportuna al almacén central (Roy et al., 2009). Al igual que en cualquier otra cadena de abastecimiento o aprovisionamiento de una organización sanitaria tiene su origen en los proveedores (laboratorios) y termina la cadena con el cliente (paciente).

## 2.1 Logística Hospitalaria

La Logística Hospitalaria se refiere a todas las tareas de logística interna que tienen lugar en la prestación de servicio al paciente al interior del Hospital (Lapierre y Ruiz, 2007). Se encuentran los procesos de adquisición, recepción y distribución de los diferentes insumos utilizados para mantener los servicios prestados, así como la gestión de la demanda y las

actividades por las que debe pasar un paciente desde su admisión hasta su dada de alta (Jiménez et al., 2007). En general, agrupa todas las actividades hospitalarias de transformación así como de flujo de recursos y pacientes.

En la figura se muestra como en las entidades de salud por lo general calculan la cantidad a pedir al proveedor Hernández et al., (2007) de la siguiente manera:

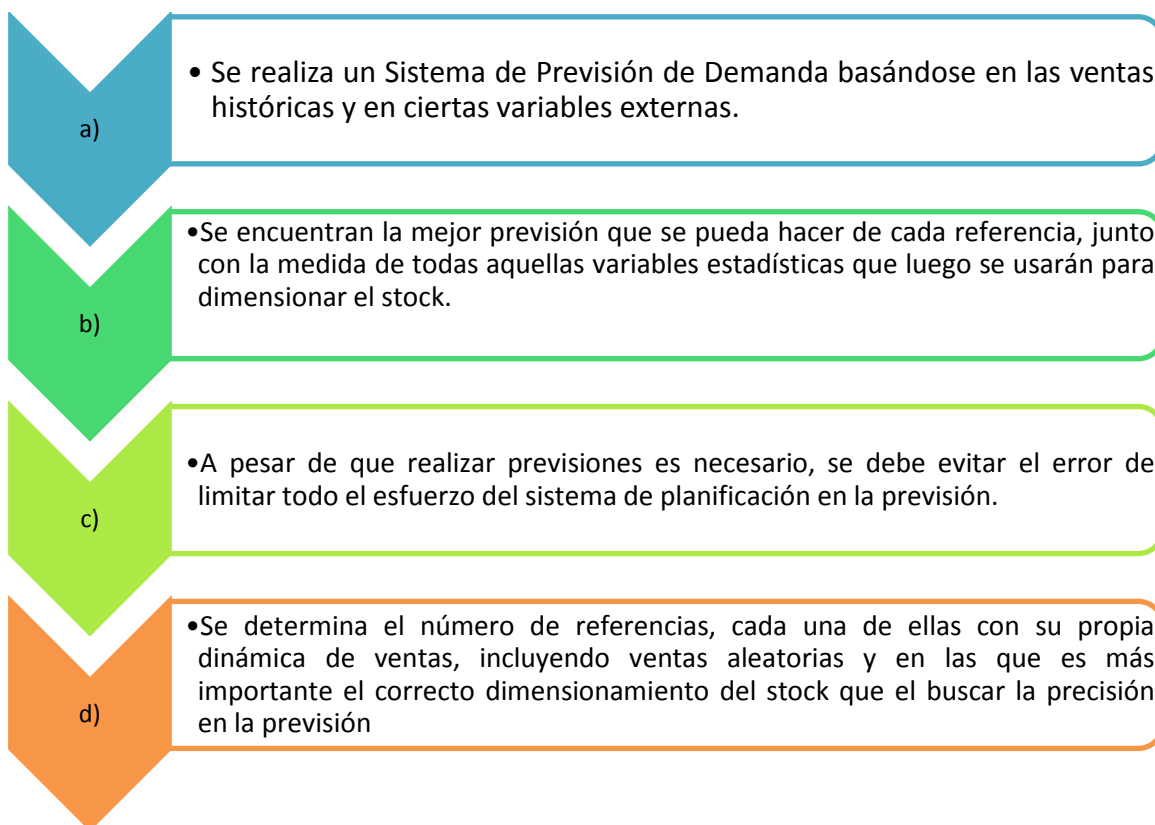


Figura 7: Pasos de un entidad de salud pedir medicamentos al proveedor  
Fuente: Elaboración propia

Alcanzar un estado aceptable de calidad en la prestación de servicios constituye un reto tanto para los responsables de los niveles normativos en los ministerios de salud, como para los niveles operativos o prestadores de los servicios, entre ellos los hospitales. Así mismo, se puede señalar que la búsqueda de eficiencia, efectividad y sostenibilidad en servicios de salud de calidad aceptable constituye la misión de muchos políticos, planificadores y administradores y en el aumento de la eficiencia y efectividad en la productividad de los servicios (Giron y Alesso, 1997; Gary, 1998). Dentro de la operación logística interna la dispensación de medicamentos comprende las actividades llevadas a cabo bajo la supervisión de un farmacéutico desde que se recibe una prescripción o una petición de un medicamento hasta que éste es entregado al propio paciente o al profesional responsable de su administración (Santos y Perez, 2001).

La gestión de recursos hospitalarios radica en la posibilidad de optimizar y mejorar la cantidad y la calidad de los servicios de salud a los que puede acceder la población, contribuyendo a mejorar la calidad de vida. El propósito de la Política Farmacéutica Nacional es optimizar la utilización de los medicamentos, reducir las inequidades en el acceso y asegurar la calidad de los mismos en el marco del Sistema de Seguridad Social en Salud. En la Figura 8 se presenta el ciclo de gestión de medicamentos en donde intervienen procesos tales como la selección de proveedores, la compra o adquisición de medicamentos, recepción, almacenamiento, distribución y por último la dispersión de medicamentos a los pacientes, todas estas son regidas por políticas de gestión de la entidad y gubernamentales.



Figura 8: Ciclo de Gestión de Medicamentos.  
Fuente: Modificado de (Management Sciences for Health, 2001)

En la siguiente Tabla 1, se hace una descripción de las actividades del ciclo de la gestión de medicamentos.



Proceso o Eslabon	Responsables	Funciones	Metodos/Methodologías
<b>Selección de proveedores</b>	Jefe de Compras, Gerente	La selección del proveedor pretende asegurar variables como calidad, oportunidad, servicio y mejor costo. Este proceso pretende garantizar los atributos de calidad, seguridad, eficacia y costo, para la prevención, diagnóstico y tratamiento de las comunidades sujetas de prestación. La compra incluye establecer los términos contractuales, garantizar la calidad de los medicamentos y asegurar que se cumplan los términos contractuales.	Cuantificar los requisitos de los medicamentos, Seleccionar los métodos de compra, Administrar las licitaciones.
<b>Adquisición</b>	Comité de Farmacia, Jefe de Compras, Gerente.	Es el proceso mediante el cual una organización recibe, transporta y almacena medicamentos. Distribución incluye despachar los medicamentos por la aduana, transportar los medicamentos desde un punto central a depósitos y centros sanitarios, en donde se dispensan, controlar las existencias y administrar los almacenes. El procedimiento de adquisición pretende asegurar la disponibilidad de los medicamentos necesarios para la atención de los usuarios, así como los demás elementos requeridos durante la prestación en salud; buscando garantizar la calidad, suficiencia y oportunidad en los productos definidos en el listado básico.	Determinación de Necesidades: Perfil Epidemiológico, Consumo Promedio, Morbilidad, Guías de Tratamiento, Listado básico establecido para la población objeto.
<b>Recepción</b>	Personal encargado de Bodega.	Es el proceso de diagnosticar, prescribir, rotular y reenvasar. Es el procedimiento mediante el cual se evalúan las características técnicas de los productos adquiridos y se establece el cumplimiento de las condiciones de negociación en la compra. Durante la cual se evalúa el cumplimiento de las condiciones comerciales pactadas con los proveedores en términos de: tiempo de entrega, cantidades adquiridas, marca de los productos, precios, condiciones de pago, otras condiciones pactadas de tipo administrativo.	Fecha de Vencimiento, Número de lote, Condiciones de Embalaje, Documentación Completa.
<b>Almacenamiento</b>	Jefe de Compras, Personal encargado de Bodega.	Consiste en la custodia y salvaguarda de los productos adquiridos hasta el momento de la distribución y/o dispensación, garantizando la conservación de las condiciones técnicas y de acción terapéutica con los cuales fue diseñado y elaborado el producto. Para llevar a cabo un adecuado almacenamiento se requiere el establecimiento de un sitio que debe obedecer al volumen de productos que se dispondrán, el número de personas que se ubican en el sitio, rotación de los productos y tiempo para el cual se compran.	Organización del Producto Control de Factores Ambientales, Control de Fechas de Vencimiento, Control de Inventario.
<b>Distribución / Dispensación</b>	Químico Farmacéutico, Tecnólogo en Regencia de Farmacia, y Auxiliar en Servicios farmacéuticos.	Tiene como función dispensar los medicamentos, y asegurar que los pacientes sigan el tratamiento. Es el procedimiento a través del cual se hace entrega a los usuarios de uno o más medicamentos o dispositivos médicos con la información necesaria sobre su uso adecuado.	Clasificación de pedidos, Medición de la dosis.

Tabla 1: Descripción del ciclo de gestión de medicamentos  
Elaboración propia

## 2.2 Metodología para determinar necesidades de medicamentos esenciales

En un informe presentado por la Organización Panamericana de la Salud / organización Mundial de la Salud, (2010) muestran el siguiente procedimiento para determinar las necesidades de los medicamentos esenciales con base en variables como: morbilidad, guías de tratamiento, listado básico establecido para la población objeto. En este procedimiento se pretende determinar o estimar la cantidad de cada producto que se requiere para la adecuada atención de los usuarios durante la vigencia de las compras.

En la determinación de necesidades se deben realizar los siguientes pasos:

- a. Definir período de análisis y de proyección de necesidades.
- b. Cuantificar las necesidades de medicamentos y dispositivos médicos y priorizarlas por nivel de uso en cada servicio.
- c. Confrontar dichos cálculos con los consumos históricos.
- d. Analizar las causas que incidieron en las variaciones de los consumos.
- e. Ajustar las cantidades definidas por los servicios y programar las cantidades a adquirir, teniendo en cuenta los indicadores de punto de reposición, consumos promedios, niveles mínimos y máximos y el tiempo de reposición.
- f. Definir prioridades, de acuerdo con el presupuesto disponible y al peso económico de cada medicamento dentro del total (Clasificación ABC) o cualquier otro método idóneo para tal fin.
- g. Definir programas de entregas o momentos proyectados de compra de acuerdo con la modalidad de adquisición, las necesidades y el flujo de caja de la institución. La programación de necesidades será evaluada permanentemente y aprobada por el Comité de Compras de la institución.

En la determinación de las necesidades de productos, se propone la aplicación de las variables de nivel mínimo de reserva, nivel máximo de reserva, punto de reposición, tiempo de reposición y cantidades a solicitar, así como las estrategias de cálculo de las anteriores variables con el ánimo de optimizar el proceso.

**Existencias (E):** comprende los productos disponibles para uso en la atención.

**Consumo Promedio Mensual (CPM):** es el consumo de cada uno de los productos incluidos en el listado básico institucional, en un tiempo establecido.

**Nivel Mínimo de Reserva (NmR):** es la cantidad mínima de producto que se recomienda tener en inventario para evitar desabastecimiento. Se calcula de la siguiente forma:

$$NmR = CPM \times TR$$

**Tiempo de reposición (TR):** es el tiempo total que se requiere para realizar el proceso de adquisición (desde la determinación de necesidades hasta que el producto se encuentra disponible para distribución), se expresa en meses.

**Tiempo de compra (TC):** es el tiempo para el cual se lleva a cabo la adquisición

**Nivel Máximo de Reserva (NMR):** es la cantidad máxima de producto que se recomienda tener en inventario para evitar, obsolescencia, averías o pérdidas por sobre stock.

$$NMR = PR + CP + NmR$$

**Punto de Reposición (PR):** es la cantidad en inventario que indica que debe iniciarse el trámite de la adquisición para evitar desabastecimiento.

$$PR = 2NmR$$

**Cantidad a Comprar (CAC):** es el volumen de producto que se debe adquirir con base en las anteriores variables para un período específico de compra.

$$CAC = (NMR - NmR) + (PR - E)$$

Este modelo es presentado por la Gestión integral de suministros de las unidades móviles de salud Chocó-Colombia a través del Manual Operativo Unidad Móvil de Salud. Cuya ente es la Organización americana de la Salud / Organización Mundial de la Salud.

### **2.3 Descripción del tratamiento oncológico en una IPSs**

El proceso de abastecimiento de medicamentos oncológicos inicia generalmente con la consulta y el diagnóstico del paciente, luego la medicación para el tratamiento es autorizado por la Entidad Prestadora de Salud (EPS), la cual tarda aproximadamente 15 días en su gestión administrativa. Una vez autorizado el tratamiento, el área de compras lanza el pedido al proveedor, compra y programa la aplicación del tratamiento en un tiempo estimado de 1 a 3 días. Para el suministro de un tratamiento oncológico al paciente se realiza en general en 5 días consecutivos. En la siguiente Figura 9. Se muestra el ciclo para realizar la compra de medicamentos oncológicos por paciente de acuerdo a su tratamiento.

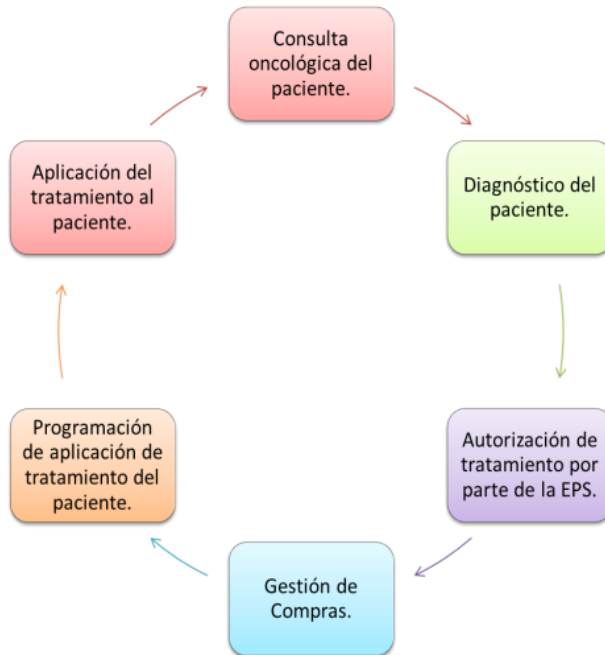


Figura 9: Ciclo del pedido por paciente de acuerdo a su tratamiento.  
Fuente: Elaboración Propia

Cuando el paciente le medican el tratamiento de acuerdo al diagnóstico que le realiza el especialista, esta orden debe ser autorizada por la EPS, la cual es la mayor restricción de demora para la aplicación del tratamiento al paciente. En la Figura 10 se muestra la intervención del área de compras.

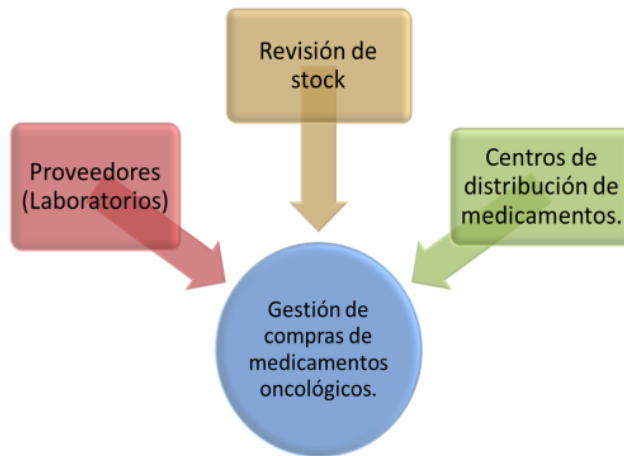


Figura 10: Gestión de compras.  
Fuente: Elaboración propia

El área de compras, actúa de acuerdo a la demanda, por ejemplo para el caso de un tratamiento por lo general se realiza su aplicación en 5 días consecutivos, el área de compras anticipa las tres primeras dosis, y luego realizan un nuevo pedido al proveedor para garantizar las dos dosis restantes y quedar con un inventario de tres dosis adicionales para la próxima aplicación. Los hospitales deben guardar inventario en situaciones de

emergencia (Whittemore y Division, 2004). Esto dependiendo del tipo de tratamiento y tiempo que el paciente debe ser sometido de acuerdo a su patología.

En resumen en el sector farmacéutico un sistema de inventarios depende de un sistema de información con listas de existencias de medicamentos en la bodega, de tal manera que se pueda llevar un seguimiento del almacenamiento y movimiento de medicamentos asegurando una adecuada rotación del mismo (Lapierre y Ruiz, 2007). Tratar de encontrar un punto medio entre tener excesos de inventarios o tener poco inventario son un elemento clave para una buena gestión (Taha, 2005).

A partir de los problemas que se presentan por falta de una eficiente gestión en procesos administrativos, logísticos y gubernamentales anunciados en este trabajo, éste se centra en la gestión de inventarios que se adapte a los requerimientos de medicamentos oncológicos de los las IPSs para que faciliten satisfacer la demanda. Los problemas de gestión de stocks con un único pedido, son aquellos donde sólo se puede lanzar un pedido durante todo el ciclo de vida del producto. El ejemplo clásico es el del vendedor del periódico, pero también se da el mismo problema en el sector de la moda, o incluso en productos donde el grado de obsolescencia posible es muy elevado (Nevárez y Moran, 2010).

## CAPITULO 3

### Generalidades del Sector Farmacéutico

En este capítulo se pretende mostrar un panorama sobre el sector de la salud y algunos problemas relacionados en la cadena de abastecimiento de medicamentos desde una perspectiva global hasta una problemática local. Como bien es sabido “un sistema de salud es el conjunto interrelacionado de instituciones, organizaciones y recursos dedicados a producir actividades de salud, y tienen como objetivo mejorar la salud de toda una población, respondiendo a sus expectativas”. La complejidad del ecosistema de salud, la criticidad de la atención y la necesidad de mejoras de la eficiencia también requieren la integración de la información tales como los registros de pacientes, planes de tratamiento, la terapia farmacéutica, entre otros (Rivard et al., 2003).

En la siguiente figura 11 se enseña un resumen de lo que comprende el clouster de Salud.

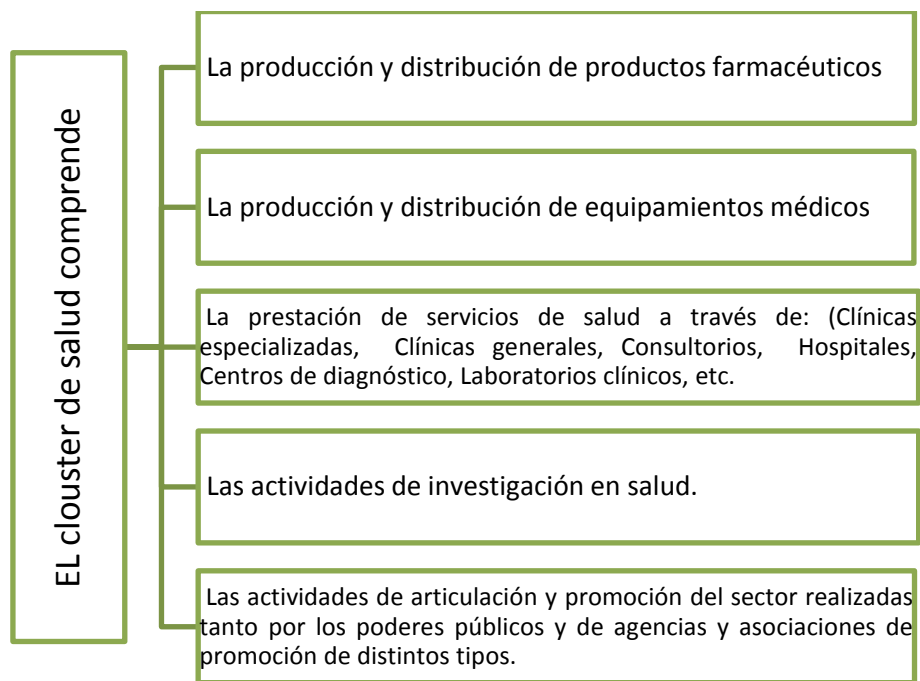


Figura 11: Áreas de la Salud.  
Elaboración propia

Si bien en sector de la salud comprende varios actores, en este trabajo se centrará en el sector farmacéutico. Es entonces donde la adquisición de productos farmacéuticos comprenden numerosas fases y en el que participan numerosos organismos, ministerios y

fabricantes con políticas, normas y reglamentaciones gubernamentales, así como las estructuras institucionales a menudo son inadecuadas y a veces impiden que se atienda de un modo eficaz al mercado actual de productos farmacéuticos (Quick et al., 2000). A continuación en la siguiente figura 12 se muestra a groso modo los actores que intervienen en el sector farmacéutico.

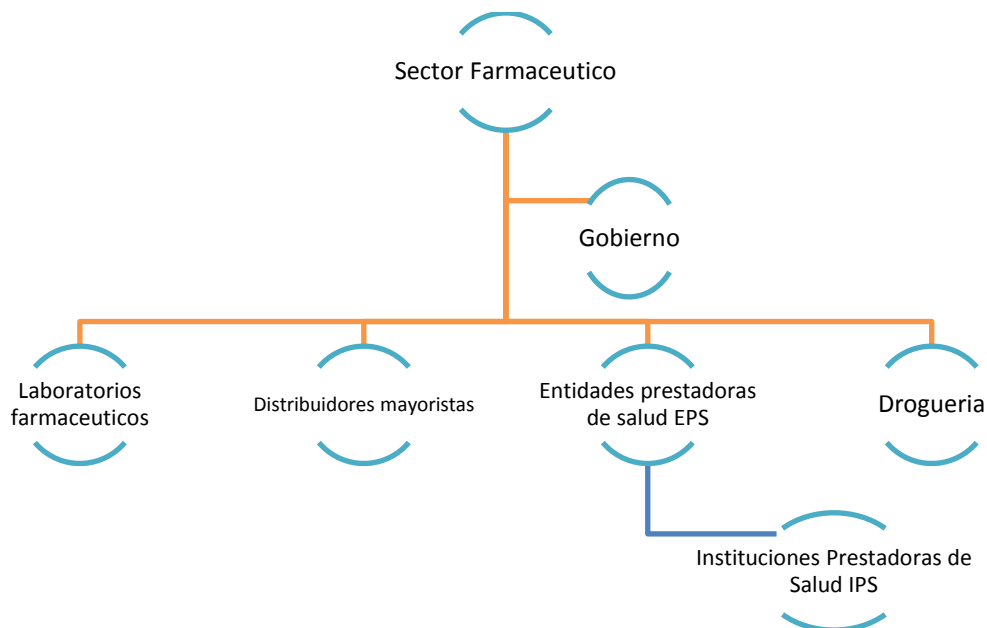


Figura 12. Actores que intervienen en el sector farmacéutico  
Fuente: Elaboración Propia.

En la actualidad existen cerca de 4400 Servicios Farmacéuticos habilitados, correspondientes a 2.912 en Instituciones Prestadoras de Salud (IPS) privadas, 1.548 públicas y 9 mixtas, pero preocupa la proliferación de servicios para la provisión de medicamentos oncológicos, posiblemente incentivada por rentabilidades económicas de los recobros, muchos de ellos sin observar los estándares de calidad según el Documento Conpes Social 155, (2012).

En la siguiente Tabla 2 se presenta un resumen de los antecedentes del sector farmacéutico en Colombia en los últimos años según el Documento Conpes Social 155, (2012).

ANTECEDENTES DEL SECTOR	
<b>Años 70's</b>	Colombia desplegó iniciativas de política farmacéutica orientadas hacia la racionalización económica y terapéutica del uso de medicamentos. Por ejemplo, el Instituto Colombiano de Seguros Sociales adoptó un listado de medicamentos, un modelo de compras centralizadas, un programa de información a los médicos y unos mecanismos excepcionales de financiamiento para patologías de alto costo.
<b>Años 80's</b>	A fines de los años 80 se establecieron políticas relacionadas con el uso de medicamentos

	genéricos. El Decreto 709 de 1991 dispuso el uso obligatorio de la Denominación Común Internacional (DCI) en la prescripción, el registro salud abreviado, la información de precios y la garantía de la calidad para todos los medicamentos del mercado
<b>1993</b>	En la Ley 100 de 1993 se incorporó el concepto de lista de medicamentos esenciales, en la forma de un Plan Obligatorio de Salud y la promoción de la competencia en el mercado farmacéutico. Además, creó la Comisión Nacional de Precios de Medicamentos – CNPM y el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos INVIMA, como parte fundamental de la reestructuración del sistema de salud.
<b>2003</b>	En 2003 el Ministerio de la Protección Social (MPS) elaboró y publicó la Política Farmacéutica Nacional basada en los principios de la Ley 100. Dicho documento, aunque no fue adoptado oficialmente, fue un referente para el desarrollo de la regulación sectorial, en especial para el sistema de gestión de los servicios farmacéuticos
<b>2011</b>	Iniciando 2011, se promulga la Ley 1438 que reforma el Sistema General de Seguridad Social en Salud SGSSS. El artículo 86 de la ley referenciada establece la necesidad de definir una política farmacéutica, de insumos y dispositivos médicos que desarrolle mecanismos para optimizar la utilización de medicamentos y evitar las inequidades en acceso y calidad de los mismos. De otro lado, se han multiplicado las iniciativas internacionales, lideradas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que han puesto de relieve la necesidad de que los países, en especial aquellos en desarrollo formulen propuestas de política farmacéutica
<b>2010-2014</b>	El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2010-2014 “Prosperidad para Todos” y la Ley 1438 de 2011 definen la necesidad de regular el uso medicamentos, fortalecer la Agencia Sanitaria y unificar los planes de beneficio. Así mismo, el PND señala puntualmente la propiedad intelectual como un instrumento para incentivar la innovación, la competitividad y el crecimiento sostenible en el largo plazo. Finalmente, la Observación General N° 14 del Pacto Internacional de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales – PIDESC establece que el derecho a la salud comprende el derecho a condiciones que aseguren a todos asistencia médica y servicios médicos en caso de enfermedad. Ello incluye el acceso igual y oportuno a los servicios de salud básicos, preventivos, curativos y de rehabilitación, que implica un tratamiento apropiado de enfermedades y el suministro de medicamentos esenciales, así como la organización del sector de la salud y del sistema de seguros.

Tabla 2: Antecedentes del Sector Salud en Colombia.

Fuente: Elaboración propia

En muchos países en desarrollo los sistemas farmacéuticos han sido sometidos a procesos de reforma para mejorar la eficiencia del sistema de suministro de los programas de salud pública e incrementar el acceso de la población a medicamentos esenciales (Barillas, 2006).

La sincronización de la información y el flujo de materiales es el principio sobre el cual se integra la gestión de la cadena de suministro. Sin embargo, en el sector salud la integración de la cadena de suministros no puede basarse únicamente en la información logística



tradicional como lo son los niveles de existencias, cantidad de ordenes etc., para alcanzar nuevos niveles de eficiencia.

### **3.1 Problemas detectados en el Sector**

La Organización Mundial de la Salud (OMS), y autores como Muñoz, (2005); Garrigues et al., (2007); Jimenez et al., (2007); Chen et al., (2012) entre otros, argumentan que existen problemas logísticos dentro de la cadena de abastecimiento de medicamentos en cuando a niveles de stock, escasas de información sobre problemas en la oferta y disponibilidad de medicamentos; a la vez que la ausencia de incentivos a la producción local o regional de los mismos, según la Unión Temporal Econometría S.A (2011). De la misma manera se reconoce a nivel global la existencia de fallas en el modelo de investigación farmacéutico OMS, (2000).

También se han detectado problemas de oferta y disponibilidad de otros medicamentos esenciales, así como dificultades en la adquisición, provisión y dispensación oportuna de medicamentos de control especial manejados por el Fondo Nacional de Estupefacientes (FNE), por ejemplo Metadona y Metilfenidato. En algunos casos estos desabastecimientos se han producido a nivel global y nacional en medicamentos de primera línea de varios tipos de cáncer, como el cisplatino o el carboplatino, y han significado monitoreo e intervenciones de agencias sanitarias en alianza con productores locales según la Instituto Nacional de Cancerología, (2011).

En el informe que presenta Gray y Manasse, (2012) realizado en noviembre de 2011 publicado por *Institute for Healthcare Informatics* reveló que “*la escasez de medicamentos en los Estados Unidos afectaba solo a cinco áreas médicas (oncología, antiinfecciosos, cardiovasculares, sistema nervioso central y tratamiento del dolor) y que más del 80% concernía a medicamentos genéricos inyectables. (Drug shortages). Sin embargo, a escala global, otros mercados pueden ser particularmente “frágiles” y no satisfacer la demanda de productos adecuados, entre ellos las formas farmacéuticas pediátricas para el VIH/SIDA y la tuberculosis (Waning B et al, 2010). La escasez de medicamentos obedece a numerosas causas diversas que los organismos gubernamentales, en alguna medida, podrían remediar. No obstante, ningún organismo de reglamentación farmacéutica puede exigir que un fabricante elabore un producto dado. Los problemas concernientes a la calidad de la producción han tenido que ver con la escasez de productos fabricados por un número limitado de proveedores”.*

La OMS (2000) presenta un resumen de los principales problemas que se presentan en los sistemas de suministro de medicamentos:

- Normas, reglamentaciones y estructuras insuficientes.
- Personal del sector público con escasa experiencia para responder a las situaciones de mercado.
- Falta de una política integral en materia de adquisiciones.
- Financiación estatal insuficiente y/o desembolso irregular de los fondos.
- Organismos donantes con normas incompatibles en materia de adquisiciones.
- Adquisición fragmentada de medicamentos a nivel de provincia o municipio.
- Falta de información imparcial sobre el mercado.
- Falta de personal capacitado en materia de adquisiciones.

A pesar de todos los avances en los métodos de fabricación, almacenamiento y distribución ciertas compañías farmacéuticas están lejos de ser efectivas al satisfacer las demandas del mercado sobre una base consistente (Masoumi et al., 2012). El mercado de medicamentos es uno de los más complejos, debido a la cantidad de actores involucrados y la diversidad de papeles que estos desempeñan en el proceso que va desde la producción hasta el consumo (Tobar, 2008). De hecho, se ha argumentado que las cadenas de suministro de drogas farmacéuticas están en necesidad urgente de técnicas de optimización eficientes a fin de reducir los costos y aumentar la productividad y capacidad de respuesta (Shah, 2004).

A continuación se presenta una Tabla 3 resumiendo algunos trabajos recientes en esta área de control de medicamentos en centros salud o farmacias.

Autores	Trabajo realizado
(Narayana et al., 2014)	Este trabajo presenta una revisión sistemática de la investigación sobre la gestión de la cadena de suministro farmacéutica (PSC).
(Uthayakumar y Priyan, 2013)	Se presenta un modelo de inventario que integra la revisión continua con la producción y distribución de una cadena de suministro que implica una empresa farmacéutica y una cadena de suministro de un hospital. Desarrolla un procedimiento para determinar las soluciones óptimas para el tamaño del lote de inventario, tiempo de entrega, y el número de partos para lograr los objetivos de CSL hospitalarios con un costo total mínimo para la cadena de suministro
(Chen et al., 2012)	Se centra en la mejora de la gestión de la cadena de suministro clínico, presenta un enfoque de optimización de simulación, incluyendo la simulación demanda de los pacientes y el pronóstico basada en escenario de demanda, programación matemática y simulación de eventos discretos de toda la cadena de suministro

(Kelle et al., 2012)	Se centra en tres modelos para la gestión de inventarios: decisiones operativas, tácticas y estratégicas en una farmacia de hospital: Unidad de almacenamiento local, Carga de trabajo de emergencia y Variedad de medicamentos.
(Masoumi et al., 2012)	Construye un modelo de red oligopolio generalizado con multiplicadores de arco para las cadenas de suministro de productos farmacéuticos utilizando la teoría de la desigualdad de variaciones.
Susarla y Karimi (2012)	Desarrollan un modelo simple de programación lineal entera-mixta (MILP) para múltiples períodos en toda la planificación de la empresa. El modelo integra la adquisición, producción y distribución junto con los efectos de las diferencias de impuestos internacionales, los costos de inventario, instalaciones de tratamiento / eliminación y otros factores de la vida real.
Kim (2005)	Ha diseñado y desarrollado una cadena integrada de suministro <i>Supply Chain Management</i> (SCM) para optimizar el control de inventario y reducir los costos de manejo de materiales de productos farmacéuticos en el sector de la salud. El <i>Vendor Managed Inventory</i> (VMI), que es una de las importantes aplicaciones de SCM, se ha adoptado e implementado para mejorar la eficiencia del manejo de materiales.
Sousa et al., (2011)	Trata el problema de optimización de una cadena de suministro de productos farmacéuticos, desde la producción primaria de ingredientes hasta la distribución del producto final a los mercados. Teniendo en cuenta el perfil de la demanda de múltiples períodos de la cartera de la compañía. El modelo de espacio total no es tratable en un tiempo razonable, por lo que dos algoritmos de descomposición se desarrollaron: un método heurístico de los productos que están optimizados de forma secuencial y un método de descomposición lagrangiana.
(Gutiérrez y Vidal, 2008)	Realiza una revisión literaria sobre políticas de inventarios de productos terminados y de materias primas en la cadena de abastecimiento, teniendo en cuenta la variabilidad de la demanda y los tiempos de suministro de medicamentos en el sector salud.

Amaro et al., (2008)	Presentan un método de modelización para la planificación y la programación secuencial de la cadena de suministro (SC) con estructuras de flujos inversos. El vínculo entre la planificación y la programación de la niveles se lleva a cabo secuencialmente mediante el establecimiento de límites de dominio de tiempo comunes.
Lapierre y Ruiz (2007)	Presentan un enfoque innovador para mejorar la logística de los hospitales mediante la coordinación de la adquisición de medicamentos y las operaciones de distribución dentro de las capacidades de inventario. Se presenta un modelo meta heurístico de búsqueda tabú que explora cuatro barrios distintos y que tiene capacidad para un modelado de dos enfoques.
Gatica G. et al., (2003)	El modelo que presenta se enfoca en la selección de productos y la planificación de la producción. La inversión está sometida a la incertidumbre de los resultados de los ensayos clínicos para cada fármaco potencial. El problema de inversión se convierte en un modelo de múltiples etapas estocástico multi-periódico y en problemas de optimización, que luego se reformula como un modelo de programación lineal entero - mixto (MILP).
Wang y Gerchak (1996)	Considera dos modelos: el modelo básico de EOQ y punto de reorden. Para ambos casos, primero se analizan un modelo con una distribución general de capacidad variable y proporcionar condiciones óptimas. La capacidad variable se muestra siempre y cuando el aumento en el tamaño de lote es óptimo, en comparación con el caso de una capacidad ilimitada, lo cual es intuitivo.

Tabla 3: Trabajos reciente de modelos aplicados al sector farmacéutico

Fuente: Elaboración Propia

Este capítulo hace referencia al manejo de inventarios en la cadena de abastecimientos del sector salud, presentando definiciones y trabajos recientes relacionados con técnicas o modelos empleados en este sector.

### 3.2 Caracterización del Servicio Oncológico en la ciudad de Medellín

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto de COLCIENCIAS llamado: Propuesta metodológica para la definición de políticas, reglas de negociación y coordinación en la gestión de abastecimiento de los medicamentos oncológicos en Colombia. CÓDIGO: 1101-521-28420. INVESTIGADOR PRINCIPAL: Wilson Adarme Jaimes. En cual se quiere presentar en este capítulo el estudio realizado en campo del sector farmacéutico oncológico mediante un diseño cualitativo y cuantitativo de un instrumento de medición, en la cual la población objetivo de estudio fueron centros distribuidores de medicamentos oncológicos e Instituciones prestadoras de salud (IPS) de tercer nivel de complejidad hospitalaria mediante de un censo en la ciudad de Medellín cuya información se tomó de los gerentes y personal relacionado con el área de compras. Como instrumento de recolección de datos se utilizó un cuestionario compuesto por siete áreas referentes a los eslabones de la cadena de suministro de medicamentos compuesto por 100 preguntas cerradas y semicerradas, las cuales permitieron obtener la información necesaria para el logro propuesto. Los resultados obtenidos se analizaron en función de la información obtenida y procesada apoyándose en la estadística descriptiva.

#### 3.2.1 Descripción de trabajo en campo

A través de la información recolectada se realizó una caracterización en la ciudad de Medellín a partir de encuestas, las cuales se les aplicaron a los diferentes distribuidores de medicamentos oncológicos e IPSs de tercer nivel de complejidad hospitalaria ubicadas dentro del perímetro urbano de la ciudad de Medellín. Se realizó un censo a los centros distribuidores de medicamentos identificados actualmente en la ciudad los cuales manejan medicamentos oncológicos. Al final se obtuvo diez encuestas de entidades que respondieron completamente, de las cuales siete corresponde a centros distribuidores y tres a IPSs en donde una IPS pertenece al sector público y las otras dos al sector privado. En la siguiente Tabla 4 se hace referencia de las entidades que realizaron la encuesta:

#	NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO	IPS	Dist
1	Operador Farmacéutico "OFYDSA"	-	X
2	PANAGRO S.A.	-	X
3	ALCOST PHARMACEUTICAL	-	X
4	Medicamentos y Suministros Hospitalarios "MEDI-HOSP SAS."	-	X
5	ALQUIMED	-	X
6	Fabio Ramirez M.	-	X
7	REDIHOS Distribuidor Hospitalario	-	X
8	Fundación Colombiana De Cancerología "CLINICA VIDA"	X	-
9	Clínica De Oncología ASTORGA	X	-

Tabla 4: Entidades Evaluadas

Este instrumento de recolección de información primaria es una encuesta guiada con entrevista, la cual contiene siete grandes ejes: Gestión del Aprovisionamiento y Transporte, Gestión de Almacenamiento e Inventario y Gestión de la Distribución, Proveedores y Costos.

Estas encuestas se realizaron a partir de las experiencias de los directores de hospitales o personal responsable de adquisición de medicamentos y/o encargados de almacenes o farmacias quienes son los que tienen mejor conocimiento de las problemáticas, con relación directa a los eslabones de la cadena logística de los medicamentos esenciales y oncológicos en dichas entidades de la ciudad de Medellín.

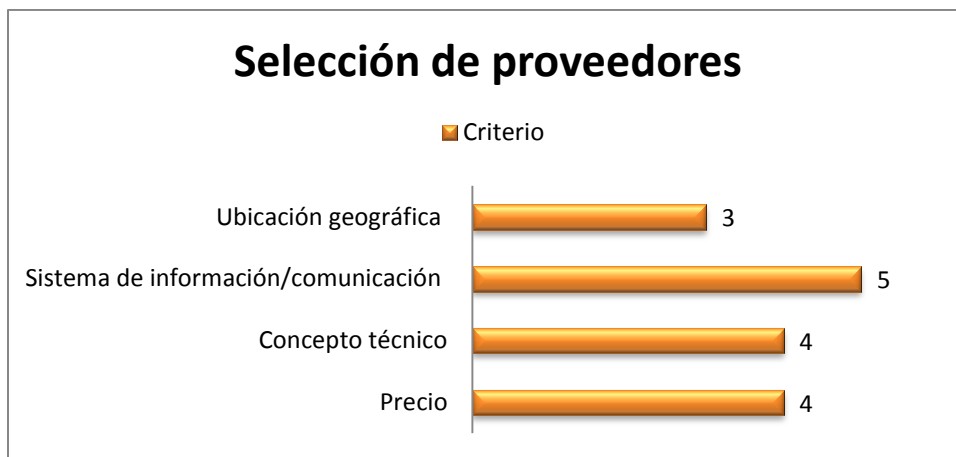
Según las observaciones realizadas por los Jefes de Compras de las entidades visitadas y evaluadas por el instrumento, se obtuvo que la cuantificación de sus requerimientos de medicamentos oncológicos fundamentalmente se generaban a partir de la experiencia del jefe de compras o en decisiones a corto plazo a través de decisiones basadas en datos históricos, debido a la variabilidad de la demanda de medicamentos y los tiempos aleatorios de suministros en el sistema logístico de inventarios.

### 3.2.2 Análisis de la encuesta

A continuación se presenta una descripción gráfica de los principales hallazgos a partir de los resultados analizados del instrumento encuesta y observaciones durante la elaboración de las mismas aplicado a las entidades presentadas en la Tabla 4.

#### **PROVEEDORES**

**Los criterios que se emplean para la selección de cada proveedor fueron:**



**Gráfica 1.** Calificación de 1 a 5 para la selección de proveedor

De la Gráfica 1 se puede concluir que para las entidades listadas en la Tabla 4, el criterio de más prioridad para la selección de proveedor es el sistema de información / comunicación de negociación. También cabe resaltar que la ubicación geográfica no es un factor determinante ya que la necesidad de adquirir el producto de un proveedor certificado tiene mayor relevancia.

El nivel de satisfacción con proveedores tuvieron los siguientes resultados:

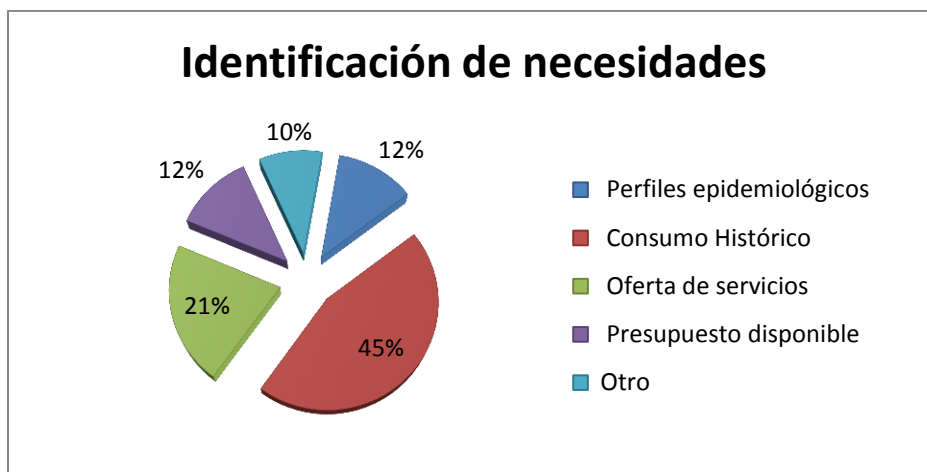


**Gráfica 2.** Nivel de satisfacción con proveedores

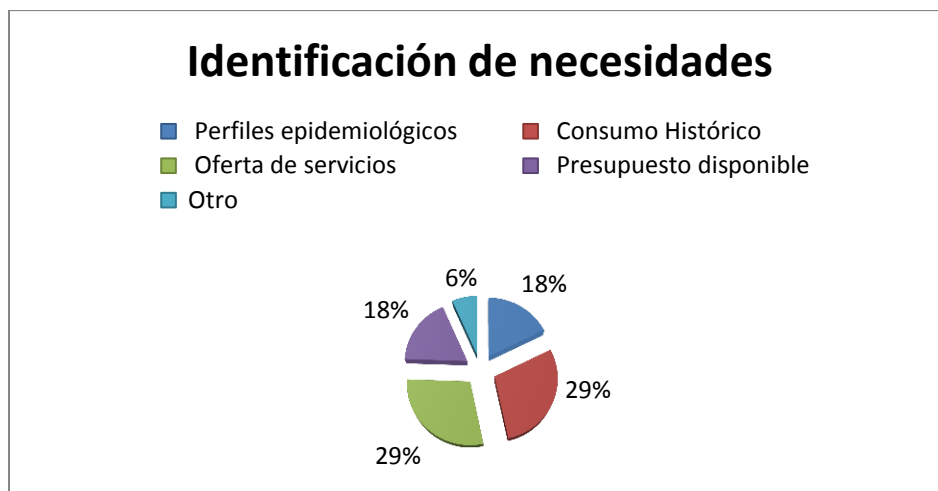
De la Gráfica 2 se puede concluir que las entidades listadas en la Tabla 4 se encuentran muy satisfechas con las cantidades correctas de entrega de pedidos por parte de los proveedores. También cabe resaltar que en un menor porcentaje se encuentra el portafolio de productos ya que por el costo de estos medicamentos o contratos con laboratorios no manejan un amplio portafolio.

## ABASTECIMIENTO

La identificación de necesidades para realizar la compra de medicamentos fueron:



Gráfica 3. Porcentaje para identificación de necesidades de Centros Distribuidores



Gráfica 4. Porcentaje para identificación de necesidades para IPSs.

Tanto para la Gráfica 3 y Gráfica 4 los criterios para la identificación de necesidades de las entidades listadas en la Tabla 4, se basan principalmente de los consumos históricos de la entidad y la oferta del servicio según los requerimientos o tratamientos de cada paciente para el caso de las IPSs. Teniendo en cuenta que todos los criterios son determinantes para hacer los pedidos.

Los pedidos Adicionales que se realizaron:

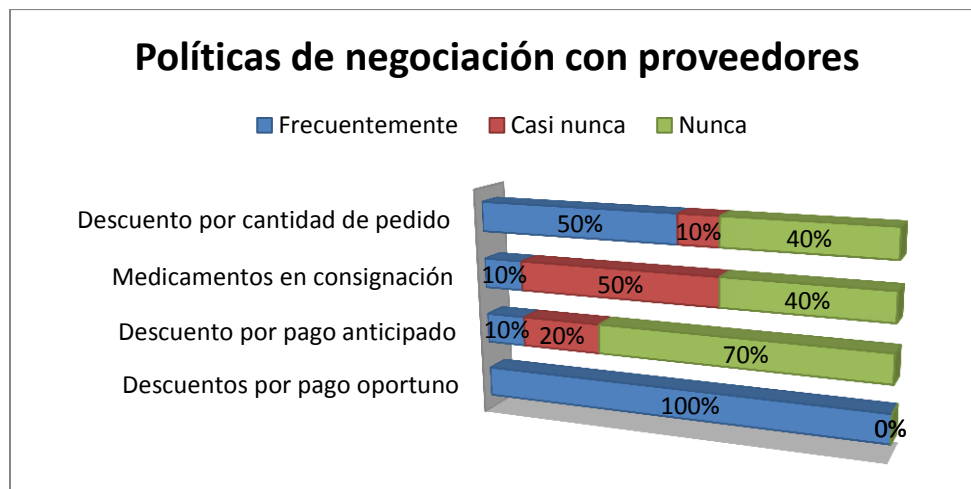




**Gráfica 5.** Promedio de pedidos adicionales que realizan las entidades encuestadas

De la Gráfica 5 se puede concluir que el porcentaje de pedidos adicionales que realizan las entidades listadas en la Tabla 4, después del abastecimiento inicial de medicamentos es considerablemente alto y esto no es positivo para las entidades, debido a que estos pedidos adicionales traen como consecuencia un aumento en costos en el valor unitario del medicamentos como para la operación.

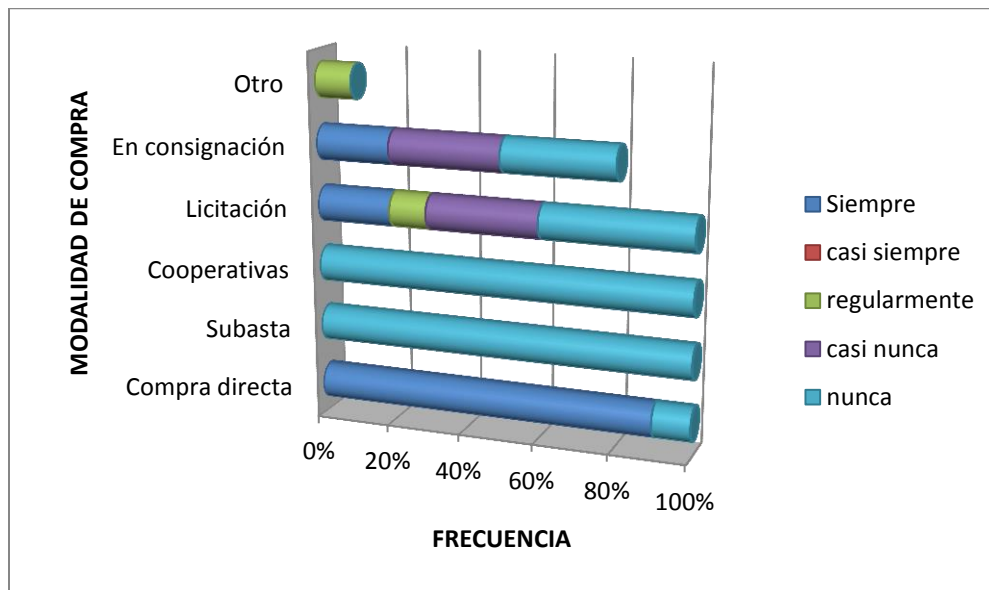
Políticas de Negociación:



**Gráfica 6.** Frecuencia de criterio de negociación

De la Gráfica 6 se puede concluir que el criterio de negociación más utilizado en las entidades listadas en la Tabla 4, es el descuento por pago oportuno y descuento por cantidad de pedido, esto puede considerarse importante ya que la mayoría de los medicamentos oncológicos son altamente costosos.

Modalidad de compra de medicamentos:

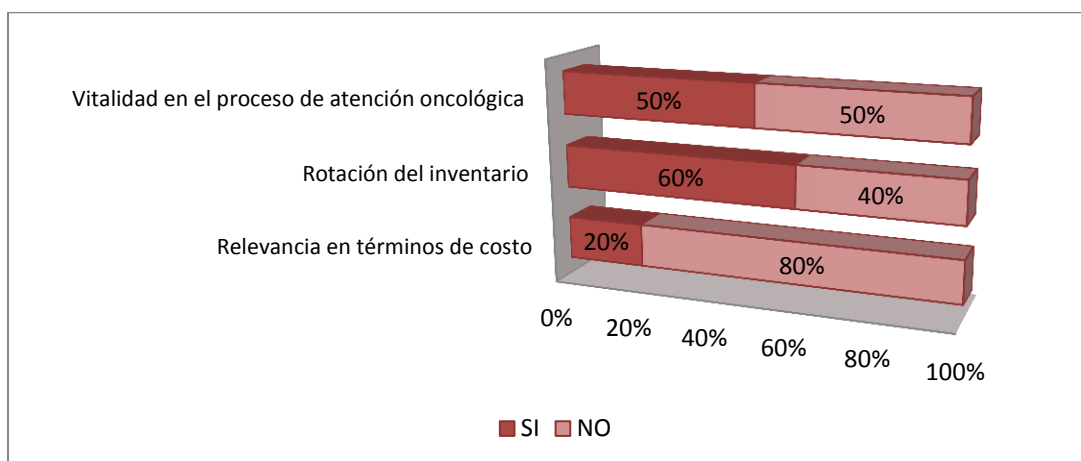


Gráfica 7. Porcentaje de frecuencia de modalidad de compra.

De la Gráfica 7 la modalidad de compra más utilizada por las entidades listadas en la Tabla 4, es la compra directa, seguido de las licitaciones y medicamentos en consignación aunque en un porcentaje más bajo. Si se tiene en cuenta la compra de medicamentos por licitación se puede lograr adquirir medicamentos por un menor precio, se puede decir entonces que en este proceso pueden incurrir en altos costos por tener preferencia de compra directa de medicamentos.

## ALMACENAMIENTO Y GESTIÓN DE INVENTARIOS

### Clasificación de medicamentos:

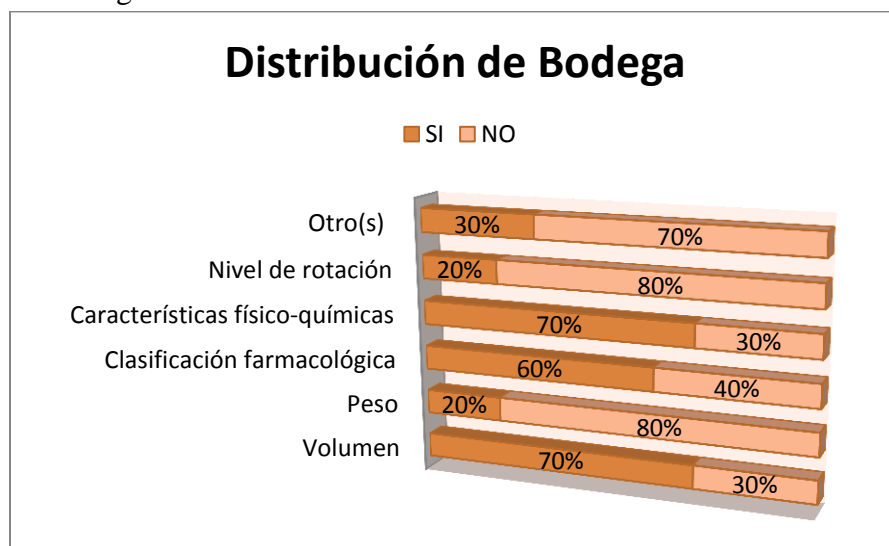


Gráfica 8. Porcentaje de uso de los tipos de clasificación de medicamentos en el almacenamiento.

De la Grafica 8 permite ver que las entidades listadas en la Tabla 4, tienen en cuenta la rotación del inventario de los medicamentos oncológicos y la vitalidad en el proceso de atención oncológica a la hora del almacenamiento en bodega de este tipo de medicamentos.

También se evidenció durante la aplicación de la encuesta que los medicamentos oncológicos son almacenados con los demás medicamentos esenciales, es decir, no tienen un área definida solo para medicamentos oncológicos. Pero si tienen un área pequeña en donde almacenan medicamentos de alto costo en gavetas o vitrinas bajo llave o cavas con sistemas de seguridad.

Distribución en Bodega:

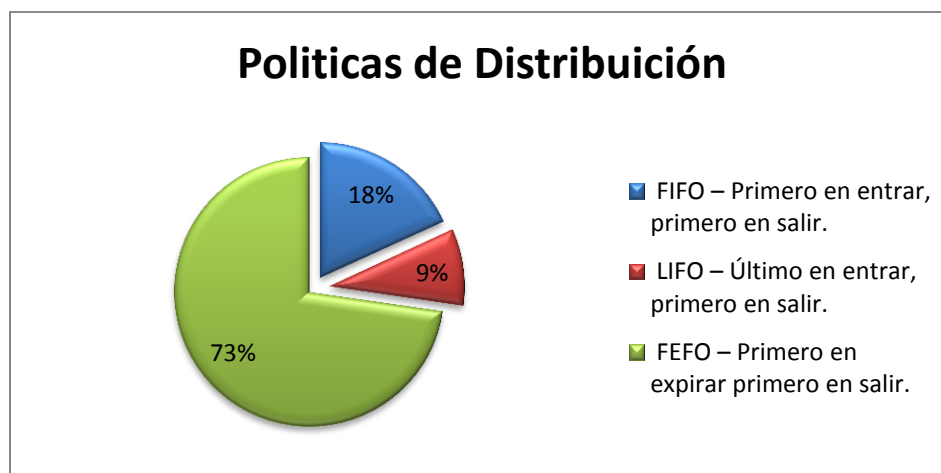


**Gráfico 9.** Porcentaje de uso de los factores de distribución en bodega.

De la Grafica 10 se puede observar que las entidades listadas en la Tabla 4, tienen conocimiento y personal adecuado en el almacenamiento de medicamentos, puesto que cumplen con las condiciones y características para la clasificación y distribución de medicamentos en las estanterías según las normas de almacenamiento.

## **SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN Y ENTREGAS**

**Políticas que se emplean para la dispensación y distribución de los medicamentos oncológicos:**



**Gráfica 10.** Porcentaje de uso en las diferentes políticas de distribución.

De la Gráfica 10 permite observar que el sistema de distribución de medicamentos de las entidades listadas en la Tabla 4, son el sistema FEFO – Primero en expirar primero en salir, seguido del sistema FIFO – Primero en entrar, primero en salir. Estos sistemas facilita la rotación de medicamento para evitar la pérdida del medicamento tanto para los proveedores como para IPSs.

### 3.2.3 Hallazgos encontrados en los resultados de las encuestas

Como parte del análisis de este estudio se realizó una matriz DOFA, en donde se presenta las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de forma general en las entidades encuestadas. A continuación se muestra en la siguiente Tabla 5.

<b>DEBILIDADES</b>	<b>OPORTUNIDADES:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las entidades no cuentan con software específico para la gestión de compras y previsión de las necesidades de medicamentos.</li> <li>• Los medicamentos para tratamientos de oncología son de un coste alto y por ello, las cantidades de estos medicamentos en el inventario son pequeñas, pudiendo llegar a producirse roturas de stock en los diversos eslabones de la cadena de suministro.</li> <li>• Se realizan pedidos no previstos mediante compra directa para atender la demanda.</li> <li>• Las organizaciones sanitarias no se encuentran familiarizadas con metodologías o modelos de control de inventarios, y las TICs que utilizan son muy básicas.</li> <li>• Bajo presupuesto por parte de las</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso efectivo y eficiente de las TICs, para gestionar los procesos, funciones, relaciones.</li> <li>• Mejorar la calidad de los procesos, aplicando métodos o metodologías aplicables al sector salud para controlar el abastecimiento de medicamentos tanto esenciales como oncológicos.</li> <li>• Aplicación de marcos de trabajo o mejores prácticas, que pueden mejorar en gran medida los procesos, pero son más económicas y menos exigentes en su implantación que las normas ISO, que tiene coste de certificación.</li> </ul>

<p>organizaciones sanitarias para la implementación de nuevas metodologías o TICs.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Por lo general, se trabaja con datos históricos para realizar pedidos de medicamentos mes a mes y no se cuenta con software especializado para dichos procesos.</li> <li>• Algunos de los centros distribuidores (retailers) no cuentan con ninguna clase de certificación internacional de estandarización (ISO).</li> <li>• Se pudo observar que el personal encargado de la gestión de compras, no tiene idoneidad académica, por ejemplo son los mismos regentes de farmacia quienes realizan o están a cargo del área de compras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los centros salud de la ciudad de Medellín se encuentran con la certificación de calidad ISO 9001:2008, por lo que tiene un enfoque a la gestión de procesos. Es posible aprovechar y explotar ese enfoque a procesos en la implantación de servicios de TICs, y las investigaciones por parte de las universidades sobre control de inventarios en cuanto a modelos y metodologías de optimización.</li> </ul>
<p><b>FORTALEZAS</b></p>	<p><b>AMENAZAS:</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las entidades cuentan con varios proveedores de medicamentos, y la mayoría tienen una antigüedad de más de 10 años.</li> <li>• Cuentan con instalaciones adecuadas para el almacenamiento de medicamentos.</li> <li>• Cuentan con personal capacitado para la manipulación de medicamentos oncológicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo limitado para capacitaciones.</li> <li>• Personal reacio al cambio de las TICs, con Software especializado en gestión de inventarios.</li> </ul>

Tabla 5. Matriz DOFA  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4 Observaciones generales de la encuesta

En general con respecto a certificaciones y capacitaciones, las entidades cumplen con los requisitos mínimos de certificación tanto las IPSs como los distribuidores.

#### 3.2.4.1 Gestión de compras

Durante la aplicación de instrumento se identificó que las entidades no realizan importación, solo compra directa al laboratorio que a su vez son grandes distribuidores a nivel mundial, entre los principales laboratorios que mencionaron las entidades encuestadas se pueden resaltar en la siguientes en la Tabla 6.

<b>Principales Laboratorios</b>	
Pfizer	Novartis
GlaxoSmithKline	Bristol – Meyers Squibb
Sanofi – Aventis	Wyeth
Johnson & Johnson	Abbott Labs
Merck	Roche

**Tabla 5.** Laboratorios a nivel mundial

- En algunas entidades tanto en IPSs como Distribuidores utilizan indicadores tales como Consumo históricos, Rotación de medicamentos, Morbilidad de pacientes, etc.
- Cuando ocurren pedidos no previstos, se realiza a través de compra directa.

A partir de una encuesta dedicada solo al área de compras, arrojó problemas de compra tales como:

- Demoras en los despachos.
- Aumento de precios de compra.
- Retraso en las entregas.
- Consecución de los medicamentos en un solo proveedor, se requiere consultar con varios proveedores.
- Existencias o stock de medicamentos en los proveedores.
- Los monopolios farmacéuticos con productos de biotecnología.
- Las deficiencias administrativas de las Aseguradoras al momento de autorizar los tratamientos ambulatorios.

#### **3.2.4.2 Recepción de Medicamentos**

- El control de calidad de los medicamentos es un aspecto positivo ya que la encuesta muestra un alto grado de conformidad.
- El proceso de recepción se hace a través de tablas militares es decir por tamaño de muestra, esta información se encuentra indicada en la sección de recepción o bodega.
- Criterios como la verificación del sello de certificación INVIMA entre otros en la recepción de medicamentos es tenido en cuenta en las entidades listadas en la Tabla 4 estudiadas.

- Uno de los puntos deficientes encontrados durante la evaluación de la cadena de suministro son los retardos en las entregas de los medicamentos por parte de los proveedores, en donde el incumplimiento se debe a factores externos del transporte ya sea por incidentes de tránsito, disturbios o factores climáticos como derrumbe en carreteras.
- Uno de los planes de contingencia que cuentan estas entidades son proveedores alternos certificados o préstamo interno de medicamentos entre los mismos centros de salud.

#### ***3.2.4.3 Almacenamiento de Medicamentos:***

- La sección de medicamentos en cadena de fríos, se almacenan en neveras o cavas, y en algunos establecimientos utilizan neveras convencionales. También en neveras de icopor móviles, las cuales utilizan para la distribución y dispersión de medicamentos.
- También algunas entidades cuentan con gavetas para mayor adecuación y tienen una ventaja adicional y es que protege a los medicamentos que son fotosensibles.
- También se tiene en cuenta la clasificación en cuanto a sus características físico – químicas, una sección de medicamentos en cuarentena y otra en proceso de ser eliminados, la cual se encarga un tercero para la disposición final para la destrucción y disposición final de estos medicamentos.
- En cuanto a los planes de incontinencia en caso de emergencia, algunas entidades cuentan con planta eléctrica, realizan backup de las bases de datos y cuentan con alternativas de herramientas como repuestos en caso de haber una falla.

#### ***3.2.4.4 Distribución o Dispersión de intrahospitalaria:***

En general y por los resultados arrojados de las encuestas, se puede observar que este proceso se realiza de acuerdo como la normatividad lo establece y con personal adecuado para dispersión de estos medicamentos oncológicos.

#### ***3.2.4.5 Costos logísticos operativos:***

De acuerdo a los costos asociados que son implícitos dentro de la cadena de suministro de este tipo de medicamentos, como lo son los costos de transporte, recepción, almacenamiento y distribución no se tienen discriminados dentro de la organización.

Lo que se puede concluir con este estudio de campo es que existen muchos inconvenientes o problemas dentro del sistema salud a nivel de procesos, administración y suministro de medicamentos. También se puede deducir que el tipo de demanda de medicamentos es de carácter aleatorio, con tamaños de lote o pedidos variables.

Para concluir este capítulo cita un reporte realizado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006), que informa que el cáncer es una de las principales causas de muerte en todo el mundo, en la actualidad hay más de 10 millones de casos nuevos y más de 6 millones de muertes anualmente provocadas por esta enfermedad. Se estima que el problema del cáncer ocupa entre la segunda o tercera causa de muerte y para el año 2030 será la primera causa de mortalidad a nivel mundial, Plan estratégico nacional para la prevención y el control del cáncer (2009 - 2013).

### **3.3 Conclusiones de la caracterización**

En general en la exploración que se realizó con el sector farmacéutico en la ciudad de Medellín se pudo diagnosticar el poco uso de modelos matemáticos para identificar las necesidades de medicamentos, y más para este tipo de mercado de medicamentos oncológicos en donde se manejan inventarios de poco volumen debido a su costo, preparación de algunas mezclas y fechas de caducidad la cual tienen como restricción no más de tres años en inventario.

Cabe considerar que la incertidumbre de la demanda para su análisis en el sector farmacéutico de medicamentos oncológicos y los elevados costos de este tipo de medicamentos permitió ver la necesidad de trabajar con modelos matemáticos sobre el contexto de la gestión de inventarios para proponer un modelo que considere o incluya la incertidumbre mediante un enfoque sencillo y fácil de comprender bajo diferentes escenarios para manejar la incertidumbre de la demanda como lo es el caso de programación estocástica bajo escenarios.



## CAPITULO 4

### **Modelo propuesto para determinar la cantidad de pedido de medicamentos oncológicos en una IPS usando programación estocástica.**

En una organización independientemente de su sector, si se mira de forma sistemática los inventarios, estos se encuentran involucrados en cada una de las áreas, y son uno de los puntos críticos de una empresa. Para este trabajo la cadena de suministro de medicamentos oncológicos va desde los laboratorios o centros de distribución como proveedores hasta el las IPSs oncológicas que son el usuario final para este caso, tomando como insumo de este capítulo la caracterización del capítulo anterior en la cual se encontró que existen problemas de control y manejo de inventarios de medicamentos dentro del sector Farmacéutico; para ello se hizo una revisión literaria de los conceptos de inventarios y los diferentes modelos o metodologías que se han estudiado para tratar este tipo de problemas.

Apoyando este capítulos con los capitulos anteriores, se pueden resaltar algunos trabajos realizados por autores tales como Gutiérrez y Vidal, (2008), Hernández et al., (2007), Shah y Gor, (2009), Taleizadeh y Nematollahi, (2014), Kelle et al., (2012), Papageorgiou, (2009), Kang y Kim, (2010) y Francisco et al, (2001) entre muchos otros que abordan este tipo de problemas con modelos de programación lineal, programación lineal entera mixta, lógica difusa, programación estocástica, modelos heurísticos, etc., para solucionar problemas de inventarios. Y de acuerdo a las condiciones de incertidumbre en la demanda de medicamentos oncológicos dentro del sistema de salud se encontró que las metodologías que se están usando para determinar las necesidades periodo a periodo son muy genéricas.

Por tal razón en este capítulo se toma la programación estocástica como modelo propuesto para recrear un árbol de escenarios bajo incertidumbre con variabilidad en la demanda y la probabilidad de ocurrencia que juegan un papel importante para tomar decisiones de menor arrepentimiento. Para ello se presentarán dos modelos para la planificación de medicamentos oncológicos, con tres actores en la cadena de suministro: un comprador (IPS), un productor (laboratorio) y un centro de distribución (CD), mediante un modelo determinístico en condiciones de demanda conocida y un modelo estocástico de dos etapas en condiciones de incertidumbre en la demanda con un horizonte de planificación a corto plazo.

#### 4.1. Formulación del modelo determinístico

El modelo a plantear busca minimizar el costo total representado por los costos de pedido, costo de almacenamiento, costos del producto y los costos incurridos por subestimar la demanda. A continuación se definen cada una de las variables usadas en el modelo y se hace una representación de la función objetivo.

$i = 1, 2, 3, \dots, T$ : periodos de tiempo

$k = 1, 2, 3, \dots, K$ : productos

$n = 1, 2, 3, \dots, N$ : intervalos de descuentos

$Q_k^i$  = cantidad de pedido del artículo  $k$  en el periodo  $i$

$I_k^i$  = cantidad de inventario del producto  $k$  en el periodo  $i$

$R_k^i$  = unidades del producto  $k$  pedidas al CD en el periodo  $i$

$S$  = Costo de pedido

$H_k$  = Costo de almacenamiento del producto  $k$  por unidad periodo

$U_k^n$  = Costo del producto  $k$  en el intervalo de descuento  $n$ .

$F_k$  = Costo del producto  $k$  ofrecido por el CD

$A_k^{n-}, A_k^{n+}$  = límite inferior y superior del intervalo de descuento  $n$

$a_k^{in} = \begin{cases} 1 & \text{si } A_k^{n-} \leq Q_k^i < A_k^{n+} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$

$\Psi$  = número muy grande

$L^i = 1$  si se hace un pedido en el periodo  $i$ , o igual a 0 sino se hace ningún pedido

$$\min z = \sum_{i=0}^T L^i S + \sum_{i=0}^T \sum_{k=1}^K I_k^i H_k + \sum_{i=0}^T \sum_{k=1}^K Q_k^i \sum_{n=1}^N U_k^n a_k^{in} + \sum_{i=0}^T \sum_{k=1}^K R_k^i F_k$$

La función objetivo no es una función lineal gracias al término  $a_k^{in} Q_k^i$ , por lo tanto este producto será representado por la variable  $x_k^{in}$  con el cual la función objetivo propuesta llega a ser:

Ecuación (1)

$$\sum_{i=0}^T L^i S + \sum_{i=0}^T \sum_{k=1}^K I_k^i H_k + \sum_{i=0}^T \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N U_k^n x_k^{in} + \sum_{i=0}^T \sum_{k=1}^K R_k^i F_k$$

Para la formulación de las restricciones, se debe tener en cuenta que las variables  $L^i$  y  $a_k^n$  están asociadas a la cantidad de pedido ( $Q_k^i$ ); por lo tanto las primeras restricciones se formulan con el fin de guardar la correspondencia entre estas variables (ver Tabla 6).

$\sum_k^K Q_k^i - \Psi L^i \leq 0$	$\forall k, \Psi$ un valor muy grande. Se busca que $\sum_k^K Q_k^i$ es mayor a 1, el valor de $L^i$ es igual 1.
$\begin{aligned} x_k^{in} &\leq Q_k^i \\ x_k^{in} &\leq \Psi a_k^{in} \\ x_k^{in} &\geq Q_k^i \\ &+ \Psi(a_k^{in} - 1) \end{aligned}$	$\forall i, k, n$ . Al igual que las anteriores, estas restricciones permiten que si $x_k^{in}$ es mayor a 0 el valor de $a_k^{in}$ debe ser igual a 1, de lo contrario también será igual a cero.
$\begin{aligned} a_k^{in} A_k^n &\leq Q_k^i \\ \sum_{n=1}^N a_k^{in} &= 1 \end{aligned}$	$\forall i, k, n$ . Se debe satisfacer que $A_k^n \leq Q_k^i < A_k^{n+1}$ y que solo un intervalo de descuento para el producto k puede ser elegido
$\begin{aligned} I_k^i + Q_k^i - d_k^i + \\ R_k^i = I_k^{i+1} \end{aligned}$	$\forall i, k$ . Balance de flujo
$I_k^1 = 0$	$\forall i, k$ . El inventario inicial es igual a cero
$\begin{aligned} I_k^T + Q_k^T - \\ d_k^T = 0 \end{aligned}$	$\forall i, k$ . El inventario final debe ser igual a cero.
$\begin{aligned} a_k^{in}; y_k^i \\ \in \{0, 1\} \end{aligned}$	$\forall i, k, n$
$I_k^T; Q_k^i; R_k^i \geq 0$	$\forall i, k$ .

Tabla 6: Restricciones del modelo determinístico

## 4.2 Formulación del modelo estocástico

Partiendo de algunos conceptos de Schumann (1999), se decidió desarrollar en este trabajo un algoritmo estocástico basado en una aproximación de dos etapas. Para tal caso sería necesario diseñar un modelo genérico que combine la planificación estratégica y las decisiones logísticas tácticas con elementos sujetos a incertidumbre. Dichos sujetos son problemas de demanda tal como el número de órdenes, precio, cantidad y tratamientos suministrados al paciente y en la planificación en el horizonte de tiempo. Todos estos actores pueden sufrir incertidumbre debido a varios factores tales como cambio de divisas en las importaciones, problemas de transporte como vías en mal estado o problemas de orden público, cambio o evolución de las patologías del cáncer en el paciente cómo son los cambios de tratamientos inesperados entre otros.

Para hacerle un tratamiento eficaz a este tipo de incertidumbre se pueden analizar los diferentes escenarios que pueden tener lugar en un escenario de planificación de horizonte muy grande. Para encontrar la mejor manera de utilizar los recursos, a partir de unos escenarios dados con parámetros estocásticos a los largo de un horizonte de planificación, se desarrollará un modelo de dos etapas, la primera consiste hacer pedidos al laboratorio y aprovechar los descuentos por cantidad y abastecer para los dos meses siguientes, es decir, guardar inventario. Y una segunda etapa en donde interviene un tercer proveedor para cubrir la demanda incurriendo en costos adicionales por el números de pedidos por fuera de la planificación de necesidades del mes.

#### 4.2.1 Análisis de escenarios

Un análisis de escenarios se puede definir como una representación de un sistema, el cual mostrará una situación hipotética de cada parámetro en cada periodo con la cantidad y la frecuencia de pedidos en un determinado horizonte de planificación, Francisco et al, (2001).

Según en el trabajo de Francisco et al, (2001) la utilización de una escala temporal en donde los periodos iniciales son más pequeños que los finales como se muestra en la figura 13, hacen que el horizonte de planificación se comporte de forma creciente, al igual que la incertidumbre asociada a algunos parámetros y variables. Teniendo en cuenta lo anterior, y al comportamiento de los requerimientos de necesidades por parte de la IPS al proveedor la cual por lo general la realizan una o dos veces al mes, se acote el conjunto de escenarios en un horizonte de planificación de tres meses para cada producto. En la siguiente figura 13 se ilustra este comportamiento de un horizonte de planificación por periodos en donde se evidencia que entre más periodos se consideren mayor será el espectro de incertidumbre para tomar decisiones.

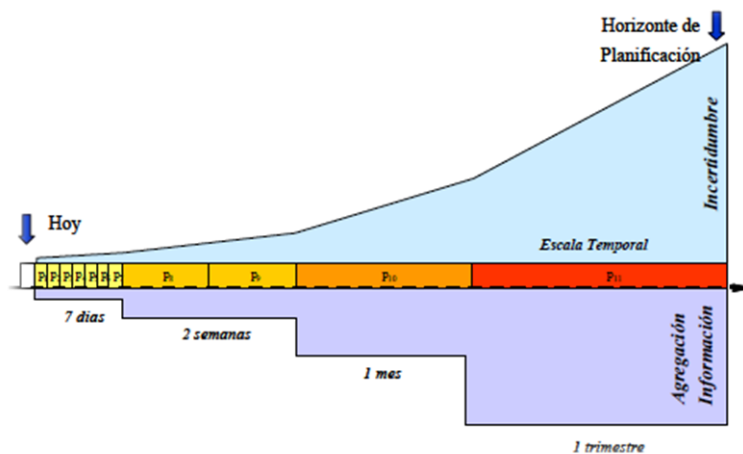


Figura 13. División en periodos del horizonte de planificación  
Fuente: tomado de Francisco et al, (2001)

En la Figura 14 se muestra un árbol de escenarios en donde los nodos representados por  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$ , con  $i = 1, 2, 3, \dots, j$ , representan los posibles valores de la demanda para los tres meses planteados en este trabajo representado por la variable  $t : t_1, t_2, t_3, \dots, t_i$  con  $i = 1, 2, 3, \dots, j$ , por otra parte los escenarios  $w_i$  resultan de la combinación de estos nodos en el horizonte temporal contemplado; así por ejemplo el escenario  $w_4$  está compuesto por los nodos  $n_1, n_3, n_8$ .

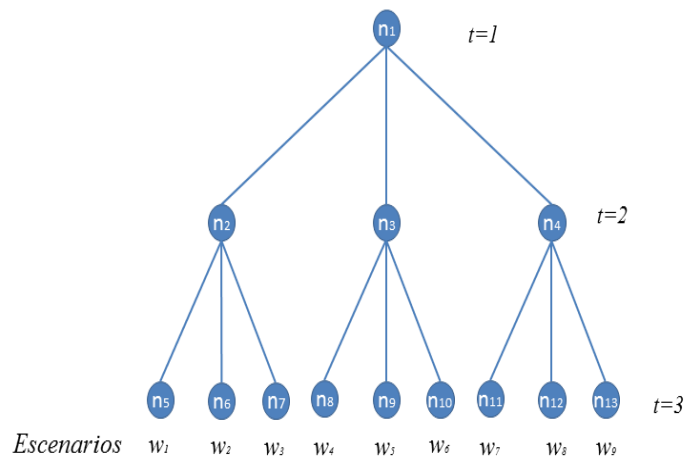


Figura 14: árbol de escenarios  
Fuente: Elaboración propia

Este sería entonces un esquema del árbol de escenarios que se piensa integrar al trabajo, en representación de los diferentes escenarios variando la demanda y la probabilidad de ocurrencia de pedidos en cada uno de los tres medicamentos. Más adelante se mostrará por medicamentos cual sería el esquema de árbol de decisión.

#### 4.2.2 Modelo estocástico de dos etapas

Cuando el tiempo y la incertidumbre juegan un papel importante en el proceso de toma de decisiones, es necesario construir un modelo que permita adoptar políticas de decisión que correspondan con los eventos que se van manifestando en cada uno de los periodos que constituyen el horizonte de planeación (Escudero, 1993). Si en el modelo anterior la demanda  $d_k^i$  es aleatoria es necesario considerar dos características adicionales. En primer lugar, hay que modelar la disponibilidad de la información en el tiempo, e indicar qué tipo de decisiones se puede hacer en cada una de las distintas etapas. En segundo lugar, con el fin de optimizar una solución propuesta, ésta debe ser comparada (ajustada) con otro criterio propuesto, el cual en un marco de aleatoriedad puede ser algo difícil.

En la programación estocástica, se pone mucho énfasis en la decisión que se toma, dados los recursos actuales, las incertidumbres y las posibles acciones de ajustes en el futuro. En la modelación estocástica la incertidumbre en los datos del problema se captura a través de

un conjunto de escenarios ( $w$ ) dando origen al "análisis de escenarios" en el cual se establece un árbol de escenarios y una función objetivo la cual se elige para representar el riesgo asociado a la secuencia de decisiones que se toman.

En el problema analizado los escenarios están asociados a los valores que toma la demanda en cada periodo, de tal manera que:

$$d_{kw}^i = \text{demanda del producto } k \text{ en el periodo } i \text{ sobre el escenario } w$$

$$p_w = \text{probabilidad asociada con el escenario } w.$$

Entre las diferentes metodologías usadas para solucionar problemas de programación estocástica, sobresale la programación estocástica de dos etapas propuesta inicialmente por Dantzing, (1955) y que busca minimizar los costos asociados a la primera etapa y minimizar el costo esperado con la segunda etapa (Conorado et al, 2010). Un modelo de programación estocástica de dos etapas puede ser representado de la siguiente manera (Birge y Louveaux, 1997).

$$\min_x z = c^T x + E_w G(x, w)$$

s.a

$$Ax = b$$

$$x \geq 0$$

En donde  $E_w G(x, w)$  es el valor esperado de la función  $G(x, w)$  la cual es igual a:

$$G(x, w) = \min_y g_w^T y$$

s.a

$$T_w x + W_w y = h_w$$

$$y \geq 0$$

El primer componente en la función objetivo representa la primera etapa de decisión en la que hay que tomar un conjunto de decisiones (representadas por las variables aleatorias  $x$ ) sin contar con información completa sobre algunos eventos aleatorios. Posteriormente uno de los posibles escenarios  $w$  se cumple y la información es completada, dando lugar a la segunda etapa del modelo estocástico en la que se toman decisiones correctivas (las cuales se representan por la variable aleatoria  $y$ ). Si solo se consideran probabilidades discretas y se unen las dos etapas en un solo modelo lineal, el resultado sería el siguiente modelo lineal determinista equivalente:

$$\min C^T x + \sum_w p_w d_w^T y_w$$

s.a

$$\begin{aligned}
Ax &= b \\
T_w x + W_w y &= h_w \\
y_w &\geq 0; \quad x \geq 0
\end{aligned}$$

El modelo de inventario propuesto puede ser reformulado como un problema de programación estocástica de dos etapas, en donde la primera etapa consiste en determinar la cantidad de pedido al primer proveedor ( $Q_k^i$ ) y en la segunda etapa se establecen los niveles de inventarios del producto  $k$  ( $I_k^i$ ) y la cantidad de pedido solicitada al segundo proveedor ( $R_{kw}^i$ ); con eso el modelo de la ecuación (1) queda convertido en el siguiente modelo de programación estocástica:

Ecuación (2)

$$\sum_{i=0}^T L^i S + \sum_{i=0}^T \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N U_k^n x_k^{in} + \sum_w p_w \left( \sum_{i=0}^T \sum_{k=1}^K (I_{kw}^i H_k + R_{kw}^i F_k) \right)$$

s.a

En la siguiente Tabla 7 se presentan los parámetros de la ecuación (2)

$\sum_k^K Q_k^i - \psi L^i \leq 0$	$\forall i.$
$x_k^{in} \leq Q_k^i$ $x_k^{in} \leq \psi a_k^n$ $x_k^{in} = Q_k^i + \psi (a_k^n - 1)$	$\forall i, k, n.$
$a_k^n A_k^n \leq Q_k^i$ $\sum_{n=1}^N a_k^n = 1$	$\forall i, k, n.$
$I_{kw}^i + Q_k^i - d_{kw}^i + R_{kw}^i = I_{kw}^{i+1}$	$\forall i, k, w.$
$I_{kw}^1 = 0$	$\forall i, k.$ El inventario inicial es igual a cero
$I_{kw}^T + Q_k^T - d_{kw}^T = 0$	$\forall i, k.$ El inventario final debe ser igual a cero.
$a_k^n; y_k^i \in \{0, 1\}$	
$I_{kw}^T; Q_k^i; R_{kw}^i \geq 0$	$\forall i, k, w.$

Tabla 7: Restricciones del modelo estocástico de dos etapas

### 4.2.3 Aplicación de los Modelos

Para la información utilizada en el modelo propuesto se tomó de varias fuentes una de ellas es la información proporcionada por la Institución Prestadora de Salud Clínica Vida S.A. con la cual se tuvo acercamiento directo con el jefe de compras quien colaboró con la selección de los medicamentos para evaluar el modelo, cuyo criterio se fundamentó en elegir el proveedor de acuerdo a su antigüedad y entre estos se encontró que el laboratorio de Novartis Farmacéutica es uno de los proveedores más antiguos con más de 9 años con la Institución.

Además se tuvo adicionalmente en cuenta estudios y reportes con respecto a las incidencias de cáncer en el país, por ejemplo la Universidad Sergio Arboleda realizó una publicación en donde informan que los diferentes cánceres más comunes o de alto índice de incidencia son la insuficiencia renal, leucemia, estómago, cuello uterino, próstata, pulmón, colon, recto, mama entre otros, siendo más comunes los cánceres de estómago y el de colon. A partir de esto se consideraron los siguientes medicamentos como Sandostatina, Exjade y Tassigna que son utilizados para los tratamientos tales como leucemia, tumores endocrinos e insuficiencia renal, así también como medicamentos de alta rotación y costo. En la siguiente tabla 8 se presentan los tres medicamentos con su nombre comercial y su componente activo cuyo proveedor es Novartis Farmacéutica.

NOVARTIS	
Componente activo	Nombre comercial
Octreotide	Sandostatina
Deferasirox	Exjade
Nilotinib	Tassigna

Tabla 8: Medicamentos por un solo proveedor.

Una vez definido los productos o medicamentos a modelar se determinó la demanda, la cual se tomó arbitrariamente en tres estados demanda inferior, medio y superior de acuerdo a su rotación dentro del inventario de la IPS y a los resultados de las encuestas y sus comportamientos de los históricos, con el fin de tener datos discretos para modelar en tres periodos considerando un periodo como un mes. El modelo propuesto es utilizado para la planeación de pedidos de tres productos, como se muestra en la Tabla 9 en donde se enseñan los posibles niveles de demanda inferior, medio, alto y sus respectivas probabilidades de ocurrencia para los siguientes meses. También cabe resaltar que para el modelo determinístico se consideró la demanda media para correr este modelo.



Medicamento	Periodo 1						Periodo 2						Periodo 3					
	Inf	Prob	Med	Prob	Alt	Prob	Inf	Prob	Med	Prob	Alt	Prob	Inf	Prob	Med	Prob	Alt	Prob
Tasigna HCG 150mg tableta	6	0,3	7	0,4	9	0,3	11	0,3	12	0,3	14	0,4	8	0,4	11	0,2	13	0,4
Exjade 500mg tableta	12	0,2	15	0,5	16	0,3	8	0,4	11	0,4	14	0,2	17	0,2	22	0,3	24	0,5
Sandostatina 30mg LAR Ampolla	4	0,3	5	0,3	7	0,4	7	0,2	8	0,5	12	0,3	11	0,4	12	0,5	13	0,3

Tabla 9: Niveles de demanda con probabilidad discreta

A partir de estos datos se generó un árbol de escenarios que representa los tres posibles niveles de demanda para cada uno de los tres periodos, generando un total de  $3^3= 27$  posibles escenarios por cada medicamento con una probabilidad asignada de acuerdo a su rotación en la IPS y se varió entre periodos con datos estimados a la media, en total se tendría 81 escenarios sumando los tres medicamentos. A continuación se presenta las siguientes figuras 14, 15 y 16 ilustrando el producto Tasigna, Exjade y Sandostatina para los tres periodos.

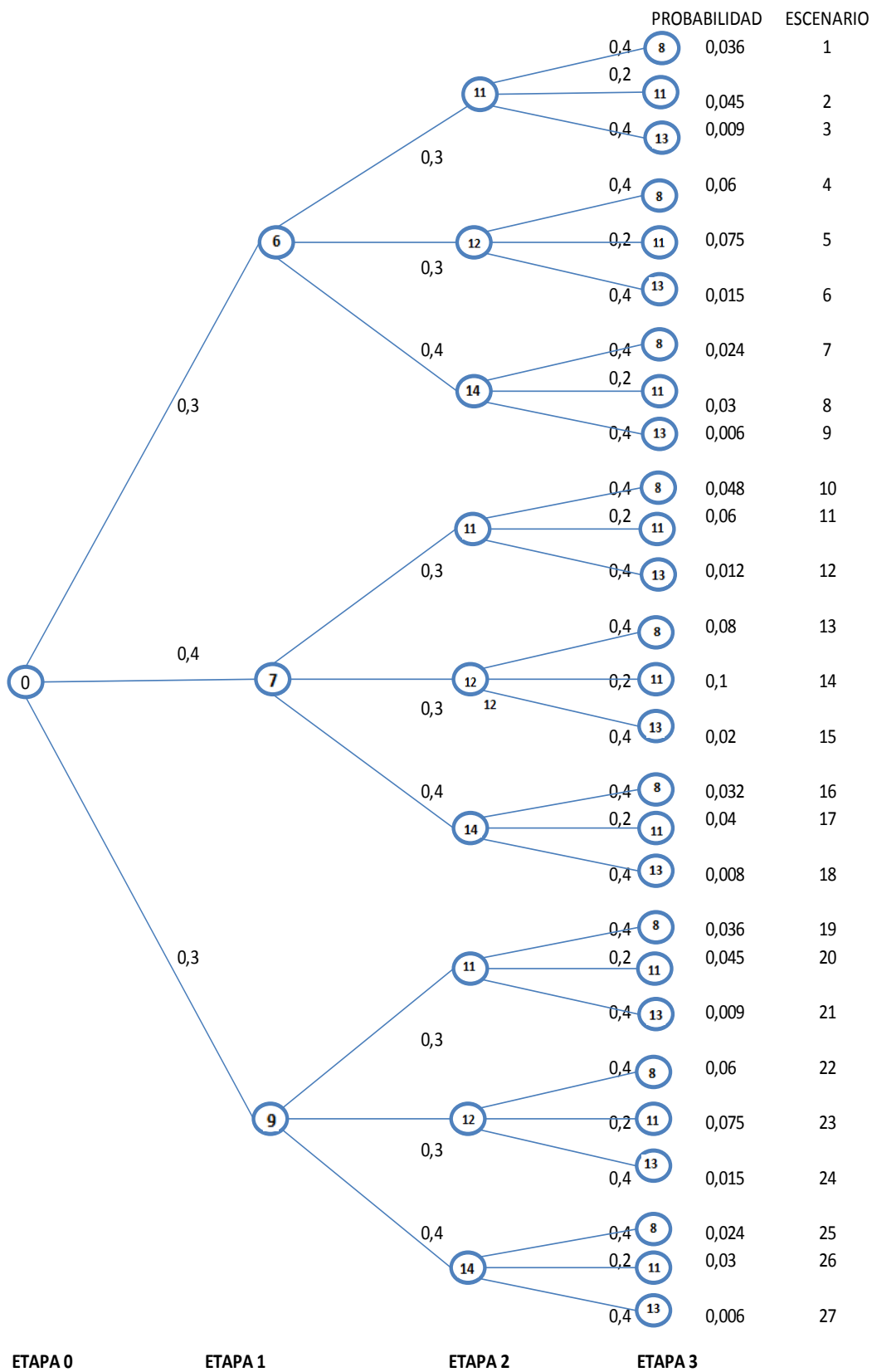


Figura 15: Árbol de escenarios para el medicamento Tasigna  
Fuente: Elaboración propia

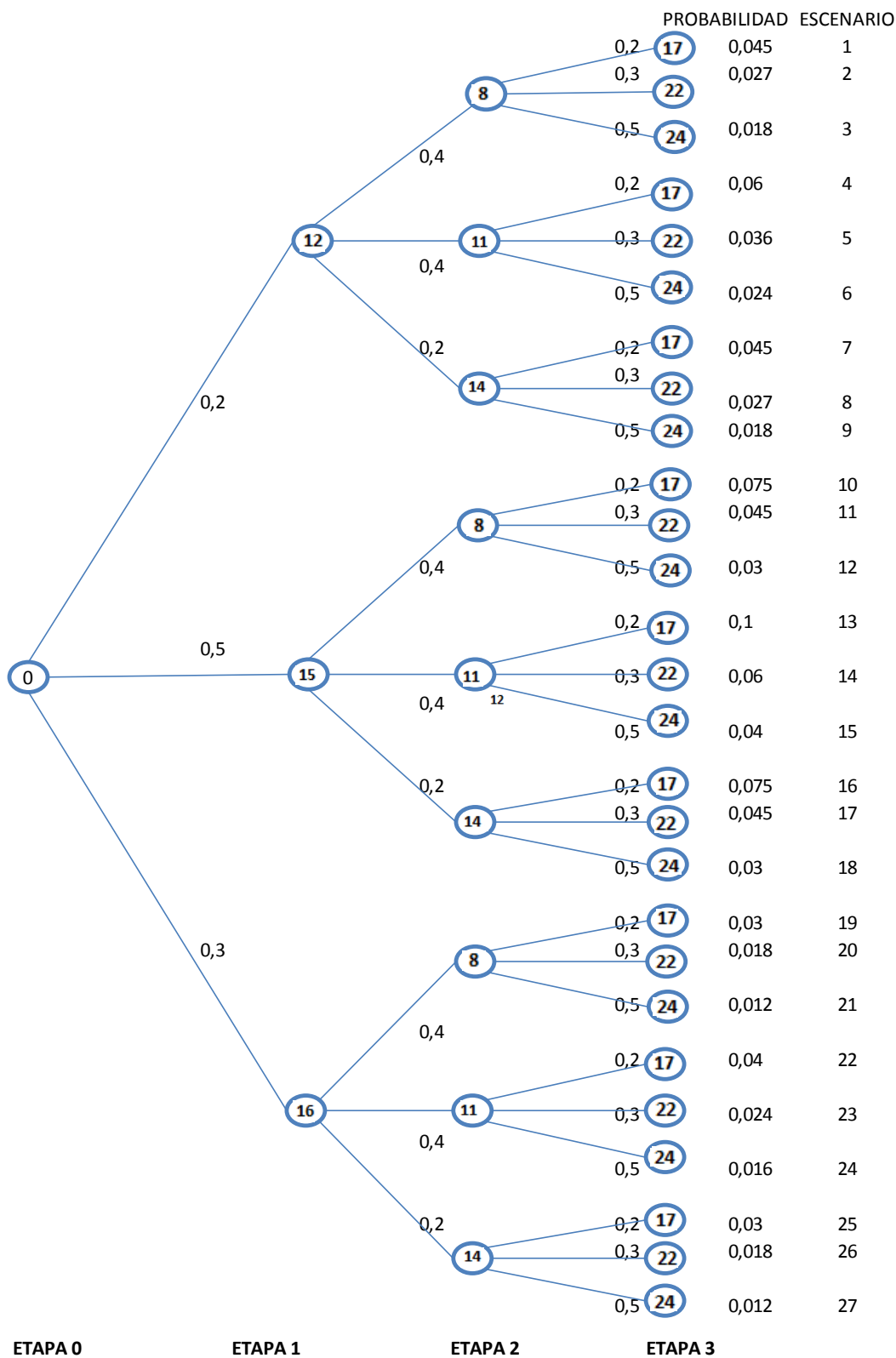


Figura 16: Árbol de escenarios para el medicamento Exjade  
 Fuente: Elaboración propia

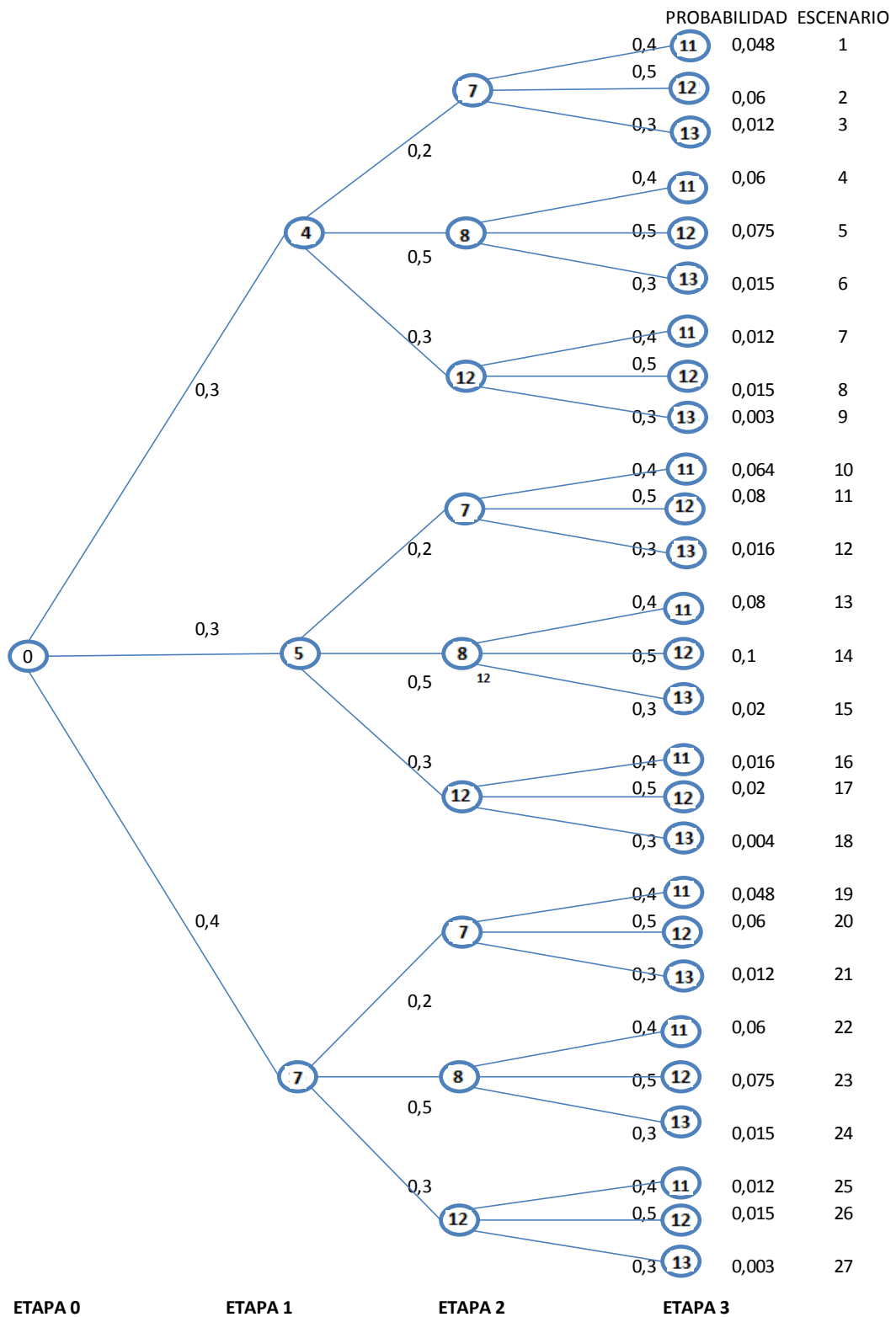


Figura 17: Árbol de escenarios para el medicamento Sandostatina  
 Fuente: Elaboración propia

En las gráficas anteriores se puede apreciar cómo a medida que avanza cada etapa, la demanda va tomando diferentes valores en la probabilidad y genera varios escenarios probables. Cada rama del árbol es una solución para cada periodo con una probabilidad diferente.

Para correr ambos modelos, en la siguiente Tabla 10 se muestra los datos iniciales como los costos de almacenamiento (H), costos de cada medicamento (F), intervalos de descuento (n), valor del intervalo (A), costo del medicamento con descuento (U) y un costo de pedido de 400000 pesos como valor arbitrario. Estos valores son representativos de acuerdo al precio por unidad según lista del ministerio de salud y protección social de Colombia.

Medicamento	Presentación	H	F	n	A	U
Tasigna HCG 150mg tableta	Caja x 112	70.000	3.500.000	1	0	3.300.000
				2	20	3.000.000
Exjade 500mg tableta	Caja x 28	50.000	2.490.000	1	0	2.398.527
				2	30	2.100.000
Sandostatina 30mg LAR Ampolla	Caja x 1	60.000	6.860.005	1	0	6.566.975
				2	15	6.100.000
Costo de pedido	\$ 400.000					

Tabla 10: Parámetros del modelo

### 4.3 Análisis de resultados:

Los datos de los modelos se corrieron a través de GAMS (*Sistema General de Modelaje Algebraico*) versión 24.2.1 basado en Windows para plataformas de Windows Intel(R) Core(TM) i3 CPU con una memoria instalada (RAM): 4GB. El código en GAMS se presenta en el Anexo 2.

En esta sección se muestran los resultados del modelo determinístico y los resultados del modelo estocástico de dos etapas, y al final se hace una comparación ambos resultados.

#### 4.3.1 Resultados del modelo determinístico

En este modelo se puede apreciar el comportamiento de los pedidos por producto, por ejemplo para el primer producto se realiza el pedido en el primer periodo con el fin de aprovechar los descuentos por cantidad y abastecer desde el inventario la demanda de los próximos dos periodos siguientes. Al ser determinístico no se hacen pedidos al segundo proveedor porque la demanda sería conocida y solo se necesitaría abastecer la farmacia con el laboratorio directamente.

En la siguiente tabla 11 se indican los periodos  $i$  por cada producto  $k$  donde se indica el número de unidades que pide el primer periodo para abastecer el resto de los dos meses siguientes, también se indica el costo del medicamento con descuento  $U$ , y la demanda por periodo denominada por  $D$ . Y por último se indica una variable  $R$ , la cual implica que la IPS realiza un pedido a un centro distribuidor.

Para esta etapa no se contempla la variable  $R$ , debido a que al ser un modelo determinístico se tiene la demanda y frecuencia de pedidos conocidos durante el periodo de planificación de los tres meses, y se realiza un solo pedido para abastecer el resto de los dos periodos siguientes, conservando los medicamentos en inventario y aprovechando los descuentos por cantidad.

PERIODO (i)	PRODUCTO (k)	Q (i,k)	I (i,k)	R (i,k)	U (k)	D (k,i)
1	Tasigna HCG 150mg tableta	30			\$ 3.000.000	7
2			23			12
3			11			11
1	Exjade 500mg tableta	48			\$ 2.100.000	15
2			33			11
3			22			22
1	Sandostatina 30mg LAR Ampolla	25			\$ 6.100.000	5
2			20			8
3			12			12
TOTAL	\$ 350.550.000					

Tabla 11: Resultados del modelo determinístico

#### 4.3.2 Resultados del modelo estocástico:

En las siguientes tablas se enseñan los resultados del modelo solucionado con programación estocástica de dos etapas utilizando datos discretos, el cual se muestra de forma resumida en el Anexo 2. Código en GAMS. Para este modelo se utiliza las probabilidades por cada valor de la demanda realizada en cada periodo que está representado por mes dentro del horizonte de planificación propuesto.

##### Modelo estocástico: primera etapa

En esta etapa se considera la opción de tomar el descuento que ofrece el proveedor por la cantidad, asumiendo una demanda determinística de tal forma que se realizaría un pedido al

inicio del periodo para abastecer los tres meses del periodo propuesto. En la tabla 12, se encuentra discriminado por producto el número de unidades que pide la IPS al laboratorio para abastecer los tres periodos.

PRODUCTO	PEDIDOS AL LABORATORIO	
	CON DESCUENTO	SIN DESCUENTO
TASIGNA	25	0
EXJADE	37	0
SANDOSTATINA	18	4

Tabla 12: Resultados de la etapa 1 del modelo estocástico

En la tabla 12 se puede observar, que para el medicamento Sandostatina aprovecha el descuento y realiza adicionalmente un segundo pedido de 4 unidades al proveedor en el tercer mes desaprovechando los intervalos de descuento por cantidad otorgado por el proveedor.

En conclusión esta primera etapa previene que el costo esperado en el que se incurre cuando cualquiera de los 27 escenarios tiene lugar, es el costo mínimo como se evidencia en la segunda etapa, ya que esta tiene como opción adicional comprar a un centro de distribución.

### **Modelo estocástico: segunda etapa**

En este modelo se hace uso de la alternativa del segundo proveedor en donde se muestran los tres productos, las demandas y costos por periodo, también muestra la cantidad pedida al proveedor (IPS) y si incurre en hacer un pedido a un centro de distribución (CD) con el número de unidades solicitadas. Aplicado esta etapa en el sector farmacéutico, como se ha mencionado capítulos anteriores, en este sector la demanda presenta cierta incertidumbre en la identificación de las necesidades mes a mes, por tanto se presentan varios tipos de decisiones tales como aprovechar descuentos por cantidad y adicionalmente realizar compras por fuera de los tiempos, es decir realizar compras adicionales en donde se ve la necesidad de comprar a un tercero, para este caso sería comprar a un centro de distribución. Ya que los laboratorios tienen unas fechas establecidas para solicitudes de compra, y en cambio los centros distribuidores minoristas pueden facilitar el medicamento casi que de forma inmediata.

A continuación se presenta en cada tabla la información de cada medicamento en los 27 escenarios posibles para un horizonte de tres meses, la cantidad acumulada en inventario, y las unidades que se compraría al centro de distribución, discriminando la probabilidad y el costo total del producto.

PRODUCTO	ESCENARIO	PROBABILIDAD	PEDIDO AL CD	COSTO TOTAL POR PRODUCTO	COSTO TOTAL POR ESCENARIO
TASIGNA	1	0,036	3	\$ 87.390.000	\$ 320.737.905
	2	0,045	3	\$ 87.600.000	\$ 323.747.905
	3	0,009	5	\$ 94.740.000	\$ 342.887.910
	4	0,06	1	\$ 80.390.000	\$ 311.247.905
	5	0,075	4	\$ 91.100.000	\$ 341.577.910
	6	0,015	6	\$ 98.240.000	\$ 360.717.915
	7	0,024	3	\$ 87.390.000	\$ 353.157.925
	8	0,03	6	\$ 98.100.000	\$ 383.487.930
	9	0,006	8	\$ 105.240.000	\$ 402.627.935
	10	0,048	1	\$ 80.320.000	\$ 311.027.905
	11	0,06	4	\$ 91.030.000	\$ 341.357.910
	12	0,012	6	\$ 98.170.000	\$ 360.497.915
	13	0,08	2	\$ 83.820.000	\$ 328.857.910
	14	0,1	5	\$ 94.530.000	\$ 359.187.915
	15	0,02	7	\$ 101.670.000	\$ 378.327.920
	16	0,032	4	\$ 90.820.000	\$ 370.767.930
	17	0,04	7	\$ 101.530.000	\$ 401.097.935
	18	0,008	9	\$ 108.670.000	\$ 420.237.940
	19	0,036	3	\$ 87.180.000	\$ 334.047.915
	20	0,045	6	\$ 97.890.000	\$ 364.377.920
	21	0,009	8	\$ 105.030.000	\$ 383.517.925
	22	0,06	4	\$ 90.680.000	\$ 351.877.920
	23	0,075	7	\$ 101.390.000	\$ 382.207.925
	24	0,015	9	\$ 108.530.000	\$ 401.347.930
	25	0,024	6	\$ 97.680.000	\$ 393.787.940
	26	0,03	9	\$ 108.390.000	\$ 424.117.945
	27	0,006	11	\$ 115.530.000	\$ 443.257.950

Tabla 13: Resultados del modelo estocástico del medicamento Tasigna

PRODUCTO	ESCENARIO	PROBABILIDAD	PEDIDO AL CD	COSTO TOTAL POR PRODUCTO	COSTO TOTAL POR ESCENARIO
EXJADE	1	0,045	4	\$ 89.760.000	\$ 320.737.905
	2	0,027	5	\$ 92.500.000	\$ 323.747.905
	3	0,018	7	\$ 97.580.000	\$ 342.887.910
	4	0,06	3	\$ 87.270.000	\$ 311.247.905
	5	0,036	8	\$ 99.970.000	\$ 341.577.910
	6	0,024	10	\$ 105.050.000	\$ 360.717.915
	7	0,045	6	\$ 94.740.000	\$ 353.157.925
	8	0,027	11	\$ 107.440.000	\$ 383.487.930
	9	0,018	13	\$ 112.520.000	\$ 402.627.935
	10	0,075	3	\$ 87.120.000	\$ 311.027.905
	11	0,045	8	\$ 99.820.000	\$ 341.357.910
	12	0,03	10	\$ 104.900.000	\$ 360.497.915
	13	0,1	6	\$ 94.590.000	\$ 328.857.910
	14	0,06	11	\$ 107.290.000	\$ 359.187.915
	15	0,04	13	\$ 112.370.000	\$ 378.327.920
	16	0,075	9	\$ 102.060.000	\$ 370.767.930
	17	0,045	14	\$ 114.760.000	\$ 401.097.935
	18	0,03	16	\$ 119.840.000	\$ 420.237.940
	19	0,03	4	\$ 89.560.000	\$ 334.047.915
	20	0,018	9	\$ 102.260.000	\$ 364.377.920
	21	0,012	11	\$ 107.340.000	\$ 383.517.925
	22	0,04	7	\$ 97.030.000	\$ 351.877.920
	23	0,024	12	\$ 109.730.000	\$ 382.207.925
	24	0,016	14	\$ 114.810.000	\$ 401.347.930
	25	0,03	10	\$ 104.500.000	\$ 393.787.940
	26	0,018	15	\$ 117.200.000	\$ 424.117.945
	27	0,012	17	\$ 122.280.000	\$ 443.257.950

Tabla 14: Resultados del modelo estocástico del medicamento Exjade

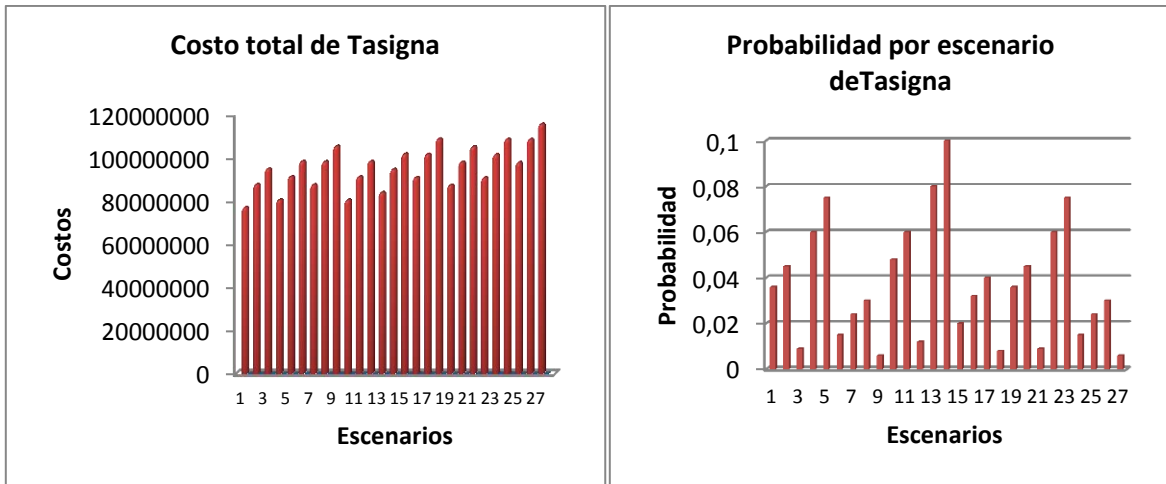


PRODUCTO	ESCENARIO	PROBABILIDAD	PEDIDO AL CD	COSTO TOTAL POR PRODUCTO	COSTO TOTAL POR ESCENARIO
SANDOSTATINA	1	0,048	1	\$ 143.587.905	\$ 320.737.905
	2	0,06	1	\$ 143.647.905	\$ 323.747.905
	3	0,012	2	\$ 150.567.910	\$ 342.887.910
	4	0,06	1	\$ 143.587.905	\$ 311.247.905
	5	0,075	2	\$ 150.507.910	\$ 341.577.910
	6	0,015	3	\$ 157.427.915	\$ 360.717.915
	7	0,012	5	\$ 171.027.925	\$ 353.157.925
	8	0,015	6	\$ 177.947.930	\$ 383.487.930
	9	0,003	7	\$ 184.867.935	\$ 402.627.935
	10	0,064	1	\$ 143.587.905	\$ 311.027.905
	11	0,08	2	\$ 150.507.910	\$ 341.357.910
	12	0,016	3	\$ 157.427.915	\$ 360.497.915
	13	0,08	2	\$ 150.447.910	\$ 328.857.910
	14	0,1	3	\$ 157.367.915	\$ 359.187.915
	15	0,02	4	\$ 164.287.920	\$ 378.327.920
	16	0,016	6	\$ 177.887.930	\$ 370.767.930
	17	0,02	7	\$ 184.807.935	\$ 401.097.935
	18	0,004	8	\$ 191.727.940	\$ 420.237.940
	19	0,048	3	\$ 157.307.915	\$ 334.047.915
	20	0,06	4	\$ 164.227.920	\$ 364.377.920
	21	0,012	5	\$ 171.147.925	\$ 383.517.925
	22	0,06	4	\$ 164.167.920	\$ 351.877.920
	23	0,075	5	\$ 171.087.925	\$ 382.207.925
	24	0,015	6	\$ 178.007.930	\$ 401.347.930
	25	0,012	8	\$ 191.607.940	\$ 393.787.940
	26	0,015	9	\$ 198.527.945	\$ 424.117.945
	27	0,003	10	\$ 205.447.950	\$ 443.257.950

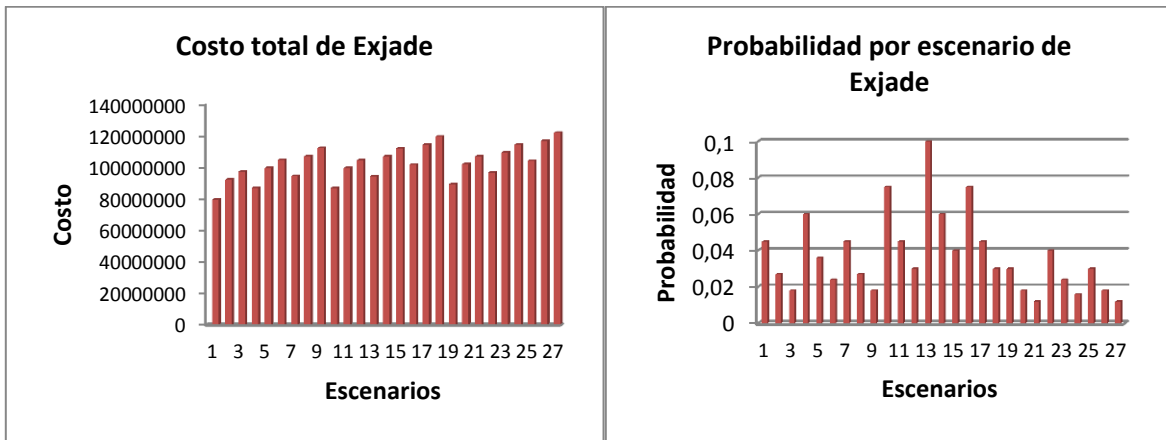
Tabla 15: Resultados del modelo estocástico del medicamento Sandostatina

En estas tablas se muestran para cada producto los 27 posibles escenarios y su probabilidad correspondientes a los tres meses, el número de unidades solicitadas por la IPS al centro distribuidor y los costos totales por producto para cada escenario. Los costos esperados indicados por escenario en las tablas corresponden a la suma de los costos totales por producto por su probabilidad de ocurrencia entre los tres medicamentos. Dando así como resultado un costo esperado por escenarios de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia.

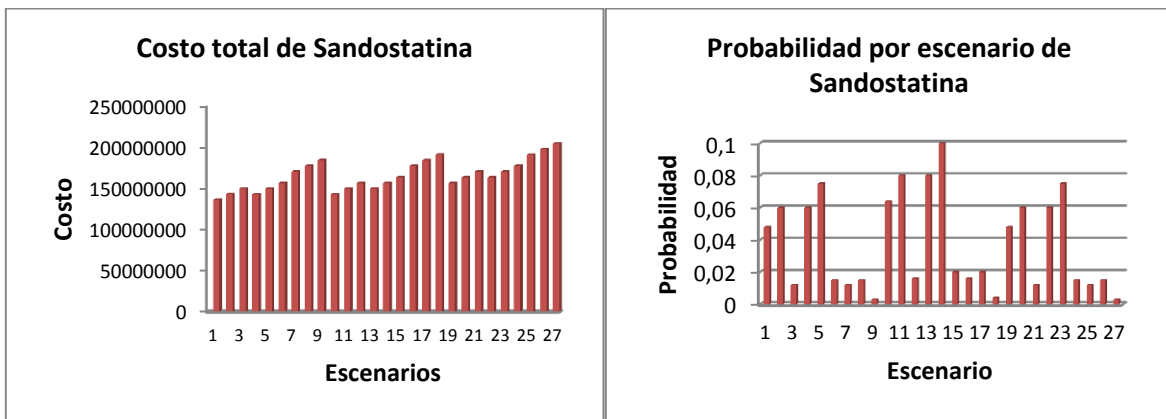
Para analizar un poco el resultado de las tablas, se presentará a continuación un diagrama de barras por medicamento.



**Gráfico 11:** Costo y Probabilidad del medicamento Tasigna



**Gráfico 12:** Costo y Probabilidad del medicamento Exjade



**Gráfico 13:** Costo y Probabilidad del medicamento Sandostatina

En las gráficas anteriores se puede interpretar la probabilidad esperada con la que los costos se comportan en cada escenario y la frecuencia de ocurrencia de cualquier posible escenario. Además se puede apreciar en donde los costos son inferiores y la probabilidad

cual es de mayor ocurrencia por producto. Por ejemplo en la siguiente tabla 16 se seleccionan los escenarios de mayor probabilidad por cada producto y su costo asociado.

Medicamento	Escenario más probable	Costo Total
Tasigna	14	\$94,530,000
Exjade	13	\$94,590,000
Sandostatina	14	\$157,367,915

Tabla 16: Resumen de medicamento por escenario más probable

En esta tabla resumen se puede ver que la Tasigna en comparación con los otros dos medicamentos, en el escenario 14 tiene un costo total inferior en relación con los otros productos.

En el siguiente gráfico 14 se hace referencia al comportamiento del costo esperado por escenario.

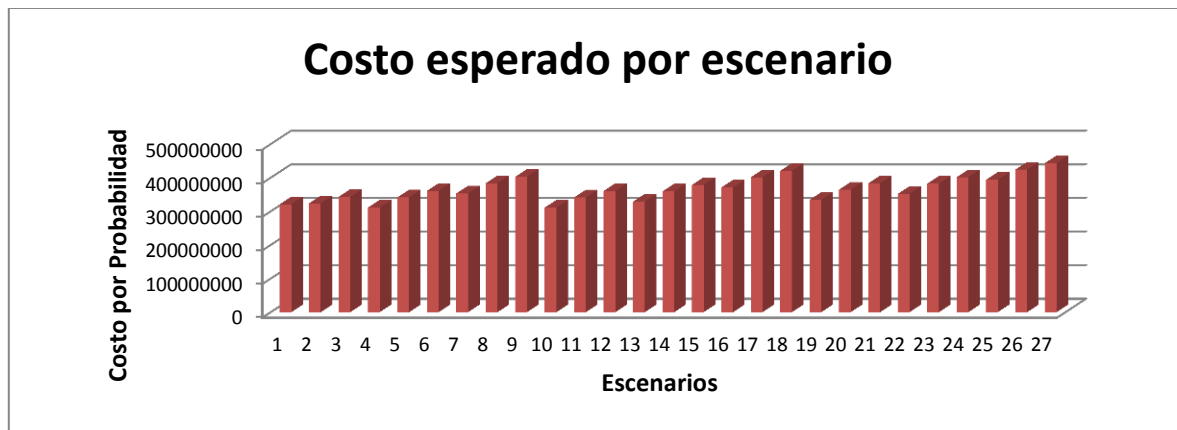


Gráfico 14: Costo esperado por escenario de los tres productos

Se puede apreciar que los escenarios de menor costo esperado pueden ser los escenarios 1,4 y el 10. Estos costos asumen los costos totales de los tres medicamentos por cada escenario.

Para el caso del modelo determinístico que arrojo un costo total esperado de \$ 350.550.000 para los tres productos durante los tres meses, no indica que sea la mejor opción en cuanto a costos, ya que tener en consideración los posibles escenarios del modelo estocástico de dos etapas hace que se considere la incertidumbre y posiblemente entre los 81 escenarios se encuentren valores de menor costo esperado en relación al modelo determinístico. Por ejemplo de la tabla 16, se puede apreciar que la suma de los tres productos tiene un costo total esperado para los tres meses de \$346.487.915, valor que en comparación con el modelo determinístico es inferior. Aunque no en todos los casos es el de menor costo.

Para concluir este capítulo, se presentará a continuación un paralelo en relación a los dos modelos propuestos.

<b>Modelo Determinístico</b>	<b>Modelo Estocástico dos etapas</b>
<p>En un contexto de una farmacia de IPS, utilizar o aplicar un modelo determinístico aunque este representa un menor costo, las condiciones ideales de demanda y frecuencia de pedidos sean conocidos, no es garantía de unos resultados óptimos para el sector farmacéutico de medicamentos oncológicos, donde las necesidades del paciente son cambiantes a partir del tipo de patología y tratamiento médico para el cáncer, ya que en el tiempo, los tratamientos son cambiantes en un paciente.</p>	<p>En el caso de aplicar un modelo estocástico, éste permite tener un abanico de escenarios para cada medicamento, en donde puede asumir cualquier opción para tomar decisiones en un horizonte de planeación a corto plazo manejando la incertidumbre de las variables asumidas para un menor arrepentimiento en la decisión.</p>

Tabla 17: Paralelo comparativo entre los modelos determinístico y estocástico.

# CONCLUSIONES

## Conclusiones generales

Este trabajo cumple el propósito del objetivo general, presentar un modelo que determine el tamaño del pedido y frecuencia minimizando los costos. Partiendo de la consulta del estado actual de suministro de medicamentos oncológicos a nivel local mediante una encuesta aplicada a las EPSs y centros de distribución de medicamentos. Y con la ayuda de la revisión bibliográfica de las diferentes modelos que se utilizan para el control de inventarios y gestión del área de compras.

Cómo resultado se presenta la generación y análisis de escenarios como parte de la solución de problemas de gestión de compra en la cadena de suministro de medicamentos oncológicos ligados a la incertidumbre de la demanda periodo a periodo a través de la comparación de dos modelos. El primero en un ambiente determinístico y otro estocástico de dos etapas. Este último permite trabajar la incertidumbre mediante un árbol de escenarios para realizar la compra de medicamentos, teniendo la opción de comprar al laboratorio y de alternar con un centro de distribución en un horizonte de planificación de corto plazo. En cuanto a costos, el costo esperado por escenario puede variar, y será de elección del jefe de comprar cual sería el costo de menor arrepentimiento que puede o quiere asumir. Por lo tanto este modelo resulta más amigable para este tipo de problemas, ya que permite trabajar con la incertidumbre y formarla como parte del abanico de opciones a través de un árbol de decisiones planteado.

## Conclusiones asociadas a la metodología

La gestión de la adquisición, almacenamiento y distribución de los productos farmacéuticos es fundamental para los hospitales y las compañías farmacéuticas, desde el punto de vista económico y organizacional ya que una inadecuada gestión puede comprometer la operación y supervivencia de una organización. Aunque lo más sencillo, desde la perspectiva de la gestión es establecer un modelo único de control de inventario, a veces esto no es la solución más rentable y más si se habla del manejo de medicamentos en donde el comportamiento de la demanda no es continua periodo a periodo para un mercado de la oncología.

Así mismo, se puede señalar que la búsqueda de la eficiencia, efectividad y sostenibilidad de los servicios de salud de calidad constituyen la misión de muchos políticos, planificadores y administradores. La gestión de recursos hospitalarios radica en la posibilidad de optimizar y mejorar la cantidad y la calidad de los servicios de salud a los

que puede acceder la población, contribuyendo a mejorar la calidad de vida. Con la caracterización del sector oncológico de la ciudad de Medellín, permitió a este trabajo confirmar los inconvenientes que aún se presentan en el área de la salud en cuanto a nivel de procesos en administración y suministro de medicamentos. En el cual el modelo propuesto puede ser de gran ayuda para mitigar el impacto de costos del abastecimiento de medicamentos oncológicos, partiendo de una metodología de modelización de un entorno donde actúa un horizonte de planificación, el estudio de variables y parámetros, y la definición de un método de generación de escenarios.

# BIBLIOGRAFIA

- Adarme, W., (2011). Desarrollo metodológico para la optimización de la cadena de suministro esbelta con  $m$  proveedores y  $n$  demandantes bajo condiciones de incertidumbre. Caso aplicado a empresas navieras colombianas. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia.
- Arango, M., Perez, G., Pinzon, I. (2010). "Mejoramiento En La Gestión De Inventarios. Propuesta Metodológica" En: Colombia Revista Universidad Eafit ISSN:0120-341X ed:Editorial Universidad Eafit. v.46 fasc.160 pp.9 – 21.
- Arango, C. (2009). Definición, desarrollo e implementación de una propuesta metodológica para la determinación del modelo de inventarios para productos terminados en las empresas que fabrican elementos de fijación en Colombia. Tesis. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.
- Arango, M., Adarme W., Zapata, J. (2011). "Aplicación del modelo de inventario manejado por el vendedor en una empresa del sector alimentario colombiano". En: Colombia Revista Eia ISSN:1794-1237 ed: Escuela De Ingeniería De Antioquia v.1 fasc.15 pp.21 - 32.
- Amaro, C.S., y Barbosa, P. F. (2008). Planning and scheduling of industrial supply chains with reverse flows: A real pharmaceutical case study. *Computers y Chemical Engineering*, 32(11),pp. 2606–2625. doi:10.1016/j.compchemeng.2008.03.006
- Aronsson, H., Abrahamsson, M., y Spens, K. (2011). "Developing lean and agile health care supply chains", Emerald Vol. 16
- Akif B. M., & Byrne, M. D. (1998). Stochastic linear optimisation of an MPMP production planning model. *International Journal of Production Economics*, 55(1), 87–96. doi:10.1016/S0925-5273(98)00060-7
- Aptel, O., & Pourjalali, H. (2001). Improving activities and decreasing costs of logistics in hospitals: a comparison of U.S. and French hospitals. *The International Journal of Accounting*, 36(1), 65–90. doi:10.1016/S0020-7063(01)00086-3
- Arshinder, K., Kanda, A., & Deshmukh, S. G. (2011). Supply Chain Coordination under Uncertainty. (T.-M. Choi & T. C. E. Cheng, Eds.)*Springer-Verlag Berlin Heidelberg*. doi:10.1007/978-3-642-19257-9

- Ballou, Ronald H. (2004). *Logística. Administración de la Cadena de Suministro*. Quinta Edición, Mexico. ISBN: 970-26-0540-7. pp. 1 - 816.
- Barillas, E. (2006). *Efectos de la reforma del sector salud en el suministro de medicamentos de Guatemala*. USAID.
- Bayter A., (2008). Mejoramiento en la gestión de compras e inventarios de medicamentos y dispositivos médicos de la clínica prevención y salud IPS LTDA. En el Banco Magdalena. Tesis. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas.
- Bertsimas, D., and Thiele, A., (2006). A Robust Optimization Approach to Inventory Theory. *Operations Research*. Vol. 54, No. 1, pp. 150–168.
- Birge, J.R. and Louveaux, F., (1997). *Introduction to Stochastic Programming*. Springer Verlag, New York.
- Calafiore, G. C., & Fagiano, L. (2013). Stochastic model predictive control of LPV systems via scenario optimization. *Automatica*, 49(6), 1861–1866. doi:10.1016/j.automatica.2013.02.060
- Chen, Z.L., Li, S., & Tirupati, D. (2002). A scenario-based stochastic programming approach for technology and capacity planning. *Computers & Operations Research*, 29(7), 781–806. doi:10.1016/S0305-0548(00)00076-9
- Chen, I. J., & Paulraj, A. (2004). Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements. *Journal of Operations Management*, 22(2), 119–150. doi:10.1016/j.jom.2003.12.007
- Chen, Y., Mockus, L., Orcun, S., & Reklaitis, G. V. (2012). Simulation-optimization approach to clinical trial supply chain management with demand scenario forecast. *Computers & Chemical Engineering*, 40, 82–96. doi:10.1016/j.compchemeng.2012.01.007
- Choudhary, D., & Shankar, R. (2013). Joint decision of procurement lot-size, supplier selection, and carrier selection. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 19(1), 16–26. doi:10.1016/j.pursup.2012.08.002
- Coronado H. Jairo R., Garcia S. José P., Maheut, J., Garcia S. Julio J. (2010). Modelo de optimización estocástica para la planificación de cadenas de suministro para productos con ciclo de vida cortos. 4<sup>th</sup> International Conference on Industrial Engineering and



Industrial Management XIV. Congreso de Ingeniería de Organización Donostia- San Sebastián , September 8<sup>th</sup> -10<sup>th</sup> .

Dantzig, G. B. (1955). Linear programming under uncertainty. *Management Science*, Vol. 1,nº. 3, pp. 197-206.

Documento Conpes Social 155 (2012). Consejo Nacional de Política Económica y Social. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá D.C., 30 de agosto de 2012.

Escudero, L. F. Kamesam P.V. King A.J. Wets J-B (1993). "Production Planning problems via scenario modelling", *Annals of Operations research* 43.

Everett E. Adam, Ronald J. Ebert (1991). *Administración de la producción y las operaciones*. Editorial Prentice Hall.

Francisco Cruz, L. E., Rodríguez Villalobos, A., García Sabater, J. P., Escudero, L. F. (2001). Análisis y definición de Escenarios en programación estocástica para la Gestión de la Cadena de Suministros, en el sector del automóvil.

Gary J., (1998) "Logistics in the health care industry", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 28 Iss: 9/10, pp.741 – 772

Garrigues, T., Marti Villodre, A., Molmeneu, R., & Muelas Tirado, J. (2007). Desabastecimiento y suministro irregular de medicamentos : problemas urgentes. *Ars Pharm*, 48(4), 329–341.

Gatica, G., Papageorgiou, L., & Shah, N. (2003). Capacity planning under uncertainty for the pharmaceutical industry. *Chemical Engineering Research ...*, 81(July), 665–678. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263876203723533>

Girón. A, N., & D. Alesso, R. (1997). *Logística del Suministro de Medicamentos*.p 1-30

Graves S. C., Rinnooy Kan, A. H., Zipkin, P. H.( 1993). "Handbooks in Operations Research and Management Science". *Logistics of Production and Inventory*. Elsevier Science Publishers. North Holland. The Netherlands. Vol. 4.. pp. 3-50.

Gray y Manasse, (2012). *Boletín de la Organización Mundial de la Salud* 2012;90:158-158A. doi: 10.2471/BLT.11.101303. Disponible en <http://www.who.int/bulletin/volumes/90/3/11-101303/es/>. Acceso 10 Diciembre 2013

- Guan, Y., & Liu, T. (2010). Stochastic lot-sizing problem with inventory-bounds and constant order-capacities. *European Journal of Operational Research*, 207(3), 1398–1409. doi:10.1016/j.ejor.2010.07.003
- Gutiérrez, V., & Vidal, C. (2008). Modelos de Gestión de Inventarios en Cadenas de Abastecimiento: Revisión de la Literatura Inventory Management Models in Supply Chains: A Literature. *redalyc.uaemex.mx*, 43, 134–149. Retrieved from [http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/430/43004313/43004313\\_1.html](http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/430/43004313/43004313_1.html)
- Hammami, R., Temponi, C., & Frein, Y. (2014). A scenario-based stochastic model for supplier selection in global context with multiple buyers, currency fluctuation uncertainties, and price discounts. *European Journal of Operational Research*, 233(1), 159–170. doi:10.1016/j.ejor.2013.08.020
- Hernández, P.C., Velasco, & N., Amaya, C.A. (2007). “Modelo para el manejo eficiente de inventarios en la cadena de abastecimiento de medicamentos del hospital el tunal” los cuadernos de PYLO. Logística Hospitalaria. Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes, Bogota, Colombia.
- Helber, S., & Sahling, F. (2010). A fix-and-optimize approach for the multi-level capacitated lot sizing problem. *International Journal of Production Economics*, 123(2), 247–256. doi:10.1016/j.ijpe.2009.08.022
- Huang, K., & Küçükyavuz, S. (2008). On stochastic lot-sizing problems with random lead times. *Operations Research Letters*, 36(3), 303–308. doi:10.1016/j.orl.2007.10.009
- Instituto Nacional de Cancerología (2011). Servicio Farmacéutico.; FDA Drug Shortages. A closer look at products, suppliers and volume volatility. Danbury CT: IMS Institute for Healthcare Informatics; 2011. Available from: <http://www.imshealth.com/vgn-ext-templating/v/index.jsp?vgnextoid=4737087078483310VgnVCM100000ed152ca2RCRD>
- Quick, J. D., Rankin, J., Laing, R., O’Connor, R., Hogerzeil, H. V., M. N. G. D. y A. G. H. (2000). *Principios prácticos para efectuar buenas adquisiciones de productos farmacéuticos*. *whqlibdoc.who.int* (pp. 1–32). Retrieved from [http://whqlibdoc.who.int/HQ/1999/WHO\\_EDM\\_PAR\\_99.5\\_spa.pdf](http://whqlibdoc.who.int/HQ/1999/WHO_EDM_PAR_99.5_spa.pdf)
- Jiménez, A. M., Guerrero, J., Amaya, C. A., & Velasco, N. (2007). Optimización de los recursos en los hospitales: revisión de la literatura sobre logística hospitalaria. Universidad de los Andes, 03, 1–13.

- Kang, J.H., Kim, & Y.D.,(2010). Coordination of inventory and transportation managements in a two-level supply chain. *International Journal of Production Economics* 123, 137–145
- Karuppiah, R., Martín, M., & Grossmann, I. E. (2010). A simple heuristic for reducing the number of scenarios in two-stage stochastic programming. *Computers & Chemical Engineering*, 34(8), 1246–1255. doi:10.1016/j.compchemeng.2009.10.009
- Kelle, P., Woosley, J., & Schneider, H. (2012). Pharmaceutical supply chain specifics and inventory solutions for a hospital case. *Operations Research for Health Care*, 1(2-3), 54–63. doi:10.1016/j.orhc.2012.07.001
- Kim, D. (2005). An Integrated Supply Chain Management System: A Case Study in Healthcare Sector. *Lecture Notes in Computer Science*, 3590, 218–227. doi:10.1007/11545163\_22
- King, A. J., & Wallace, S. W. (2007). *Modeling with Stochastic Programming*. Springer, New York (pp. 1–171). New York, USA. doi:10.1007/978-0-387-87817-1
- Kovács, A., Egri, P., Kis, T., & Váncza, J. (2013). Inventory control in supply chains: Alternative approaches to a two-stage lot-sizing problem. *International Journal of Production Economics*, 143(2), 385–394. doi:10.1016/j.ijpe.2012.01.001
- Lapierre, S. D., & Ruiz, A. B. (2007). Scheduling logistic activities to improve hospital supply systems. *Computers & Operations Research*, 34(3), 624–641. doi:10.1016/j.cor.2005.03.017
- La Organización Panamericana de la Salud / organización Mundial de la Salud, (2010). Detalles para Gestión Integral de suministros UMS Chocó. Fuente electrónica en línea, [http://www.paho.org/col/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_details&gid=493&Itemid=99999999](http://www.paho.org/col/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=493&Itemid=99999999). 19/03/2014.
- Política Farmaceutica Nacional CONPES 115 (2012). Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. [http://www.med-informatica.net/OBSERVAMED/PFNyLeyMedicamento/DocumentoCONPESsocial155\\_PFN2012FINAL.pdf](http://www.med-informatica.net/OBSERVAMED/PFNyLeyMedicamento/DocumentoCONPESsocial155_PFN2012FINAL.pdf). revisado (04/04/2014)
- Management Sciences for Health. (2001). Mejoras en la gestión de medicamentos para controlar la tuberculosis. *Actualidad Gerencial*, 10(4), 2–21. Retrieved from [http://erc.msh.org/TheManager/Spanish/V10\\_N4\\_Sp\\_Issue.pdf](http://erc.msh.org/TheManager/Spanish/V10_N4_Sp_Issue.pdf)

- Masoumi, A. H., Yu, M., & Nagurney, A. (2012). A supply chain generalized network oligopoly model for pharmaceuticals under brand differentiation and perishability. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(4), 762–780. doi:10.1016/j.tre.2012.01.001
- Mena, Nicolay; Cruz, Francisco; Vicens, E. (2006). Planificación de la Demanda en la Gestión de Cadena de Suministro con Redes Neuronales y Lógica Difusa. *X Congreso de Ingeniería de Organización Valencia*, 1–9. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/10.2307/2631860>
- Muñoz, D. R. (2005). Nuevas tendencias en la logística sanitaria. *Rev Adm Sanit*, 3(505), 505–516.
- Nevárez, J. S., & Morán, J. A. (2010). “ Estudio del problema de la asignación de carga para rutas de autoventa en empresas de consumo masivo .”
- Nicholson, L., Vakharia, A. J., & Erenguc, S. S. (2004). Outsourcing inventory management decisions in healthcare: Models and application, 154, 271–290. doi:10.1016/S0377-2217(02)00700-2
- Narayana, S. a., Kumar Pati, R., & Vrat, P. (2014). Managerial research on the pharmaceutical supply chain – A critical review and some insights for future directions. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 20(1), 18–40. doi:10.1016/j.pursup.2013.09.001
- Organización Panamericana de la Salud (2000). Programas Nacionales de Control de Cáncer. “La carga del cáncer”. Cáp. 3, pp. 17. Ginebra.
- OMS, (2006). Grupo de trabajo intergubernamental sobre salud pública, innovación y propiedad intelectual.
- Papageorgiou, L. G. (2009). Supply chain optimisation for the process industries: Advances and opportunities. *Computers & Chemical Engineering*, 33(12), 1931–1938. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135409001550>
- Parpas, P. (2006). Global Optimization of the Scenario Generation and Portfolio Selection Problems, (1), 908–917.
- Pedroso, M. C., & Nakano, D. (2009). Knowledge and information flows in supply chains: A study on pharmaceutical companies. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 376–384. doi:10.1016/j.ijpe.2009.06.012

- Philippe, M., Marcelo Dib, C., & Viviane, G. (1994). Using the tabu search method for the distribution of supplies in a hospital. *Annals of Operations Research*, 50(1), 427 – 435. doi:10.1007/BF02085651
- Plan estratégico nacional para la prevención y el control del cáncer 2009-2013. Republica de Honduras. Secretaria de Salud. [http://www.paho.org/saludenlasamericas/index.php?id=43&option=com\\_content](http://www.paho.org/saludenlasamericas/index.php?id=43&option=com_content). revisado 06/04/2014
- Rivard, R. H., Beaulieu, M., & Friel, T. (2003). Healthcare ecosystem: linking logistical flows and clinical flows. *Cahier de recherche*, 03(04), 1–9. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=15274048>
- Roy C, Das JK, Jha HK, Bhattacharya V, Shivdasani JP, N. D. (2009). Logistics and supply management system of drugs at different levels in Darbhanga District of Bihar. *Community Medicine, Darbhanga Medical College, Bihar.*, 53(3), 50 –147. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20108878>
- Santos, B., & Perez, I. (2001). Dispensación de medicamentos de especial control. *FARMACIA HOSPITALARIA*, 415 –447.
- Shah, N. (2004). Pharmaceutical supply chains: key issues and strategies for optimisation. *Computers & Chemical Engineering*, 28(6-7), 929–941. doi:10.1016/j.compchemeng.2003.09.022
- Shah, N.H.,& Gor, A. S. (2009). An integrated economic lot-size model for vendor-buyer inventory system when input is random. *Mathematical and Computer Modelling* 49 (2009) 13261330. [www.elsevier.com/locate/mcm](http://www.elsevier.com/locate/mcm)
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1997). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. (John Wiley & Sons, Ed.) (Tercera Ed., pp. 74–130). New York.
- Snyder, R. D., Koehler, A. B., Hyndman, R. J., & Ord, J. K. (2004). Exponential smoothing models: Means and variances for lead-time demand. *European Journal of Operational Research*, 158(2), 444–455. doi:10.1016/S0377-2217(03)00360-6
- Sousa, R. T., Liu, S., Papageorgiou, L. G., & Shah, N. (2011). Global supply chain planning for pharmaceuticals. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(11), 2396–2409. doi:10.1016/j.cherd.2011.04.005

- Susarla, N., & Karimi, I. a. (2012). Integrated supply chain planning for multinational pharmaceutical enterprises. *Computers & Chemical Engineering*, 42, 168–177. doi:10.1016/j.compchemeng.2012.03.002
- Schumann Consortium (1999), "Implementatio of the scenario generation scheme". (Deliverable D4.4). European Commission. DGIII Industry
- Taleizadeh, A. A., & Nematollahi, M. (2014). An inventory control problem for deteriorating items with back-ordering and financial considerations. *Applied Mathematical Modelling*, 38(1), 93–109. doi:10.1016/j.apm.2013.05.065
- Taha, H. A. (2005). Investigación de operaciones. 5 ed. México: Editorial Alfaomega, pp. 960
- Tarim, S. A., Manandhar, S., & Walsh, T. (2006). Stochastic constraint programming: A scenario-based approach. *Constraints*, 11(1), 53-80.
- Tobar, F. (2008). Opinión y análisis / Opinion and analysis Economía de los medicamentos genéricos en América Latina. *Rev Panam Salud Publica.*, 23(1), 59–67.
- Unión Temporal Econometría S.A( 2011) SEI- SIGIL Consulting Group S.A Producto 2B- Revisión de la Política Farmacéutica Nacional. Bogotá.
- Universidad Sergio Arboleda (2013). ALTUS en línea. Número 4. | ISSN: 2216-005 Uhttp://www.usergioarboleda.edu.co/altus/articulo-panorama-general-del-cancer-en-Colombia.htm revisado en 02/2014.
- Uthayakumar, R., & Priyan, S. (2013). Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital. *Operations Research for Health Care*, 2(3), 52–64. doi:10.1016/j.orhc.2013.08.001
- Vidal, C. (2005). *Fundamentos de gestión de inventarios*. (U. F. de I. del Valle, Ed.)*Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería* (Tercera Ed., pp. 1–242). Santiago de Cali, COLOMBIA: Artes Gráficas de la Facultad de Ingeniería – Universidad del Valle.
- Wang, Y., & Gerchak, Y. (1996). Continuous review inventory control when capacity is variable. *International Journal of Production Economics*, 45, 381–388. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/092552739500128X>

- Whittemore, G. J., & (Division, E. S. (2004). An Engineering Approach to Improving Hospital Supply Chains An Engineering Approach to Improving Hospital Supply Chains.
- Waning B, Diedrichsen E, Jambert E, Bärnighausen T, Li Y, Pouw M, et al., et al (2010). The global pediatric antiretroviral market: analyses of product availability and utilization reveal challenges for development of pediatric formulations and HIV/AIDS treatment in children. *BMC Pediatr*; 10: 74- doi: 10.1186/1471-2431-10-74 pmid: 20950492.
- Xiao, Y., Kaku, I., Zhao, Q., & Zhang, R. (2012). Neighborhood search techniques for solving uncapacitated multilevel lot-sizing problems. *Computers & Operations Research*, 39(3), 647–658. doi:10.1016/j.cor.2011.06.004
- Yost, R. (2005). New economics of the pharmaceutical supply chain. *American Journal of Health – System Pharmacy*, 62, 525 – 526.
- Zapata J. (2010). Metodología para la implementación de tecnologías de la información y las comunicaciones TIC'S para soportar una estrategia de cadena de suministro esbelta. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.