



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Universidad de la República – Facultad de Ingeniería



Gestión de Inventario de Insumos Médicos Especializados

Informe final – Proyecto de Grado – Ingeniería de Producción
Setiembre 2017

Estudiantes:

Gabriela Artecona: 4.814.869-2

Sofía Bonilla: 4.655.004-7

Martín Buschiazzo: 4.742.732-4

Tutor: Dr. Ing. Pedro Piñeyro
Montevideo, Uruguay

Agradecimientos

Antes que nada, queremos expresar nuestro agradecimiento al tutor Pedro Piñeyro quien nos acompañó a lo largo del Proyecto, compartiéndonos constantemente su conocimiento y experiencia. También agradecemos al personal de Economato del Departamento de Hemodinamia del Centro Cardiovascular Universitario del Hospital de Clínicas (CCVU), quienes nos brindaron su tiempo, explicándonos con paciencia la realidad del caso de estudio, a Rossana Caride, Rosana Saldías, Lorena Pereira, Karina Oliver y Martín Milán. A la Dirección Administrativa del CCVU, Mariela Rodríguez, quien nos abrió las puertas para nuestra investigación y colaboró en distintas etapas del Proyecto.

Por último, agradecemos a nuestras familias por el apoyo brindado durante esta etapa y a Selene, Camila, Juan, Daniel y Lucía quienes también colaboraron con este Informe.

Resumen

En este Proyecto se aborda el problema de Gestión de Inventario de Insumos Médicos Especializados. Se toma como caso de estudio una Institución de Salud Pública, concretamente el Instituto de Medicina Altamente Especializada (IMAE) cardiológico del Hospital de Clínicas “Dr. Manuel Quintela”, Facultad de Medicina, Universidad de la República.

La Medicina Altamente Especializada se puede definir como aquella que requiere una gran concentración de recursos humanos y materiales para un escaso número de pacientes. En la misma está en juego el pronóstico vital o funcional, por lo que se busca obtener la excelencia asistencial.

El trabajo realizado está enfocado en la gestión de los insumos utilizados para intervenciones de Hemodinamia, en las que se estudia el corazón y la dinámica de la sangre en el interior de estructuras sanguíneas como venas y arterias. La problemática en cuestión involucra aspectos de alta criticidad debido a la importancia de contar con los insumos en tiempo y forma para la atención al paciente. Lo cual, junto con los altos costos y el carácter perecedero de este tipo de insumos, convierten a su Gestión de Inventario en una tarea de alta complejidad.

Partiendo de un enfoque de revisión periódica, con múltiples proveedores e insumos, se diseña y resuelve un modelo de programación matemática del problema. Este contempla principalmente el cumplimiento de altos niveles de servicio, la vida útil de los insumos, las restricciones presupuestales y la minimización de los costos involucrados. Se desarrolla además una herramienta que brinda tanto lineamientos para la toma de decisiones de largo plazo, así como una guía para las decisiones de compras periódicas. Con esta herramienta se pueden obtener entre otros: un plan de compras sugerido, una proyección de costos e inventario en el horizonte de planificación, la secuencia de consumo, el cumplimiento de la demanda y la capacidad de almacenamiento utilizada.

Se realiza un análisis de sensibilidad para estudiar cómo varía la solución óptima frente a modificaciones en distintos parámetros, y de robustez para analizar la solidez de la solución frente a posibles variaciones de demanda, estudiando su comportamiento estadístico.

De la solución obtenida y los análisis posteriores, se destaca que en ningún caso se dejaría de intervenir al paciente por faltante de insumos si se tienen en cuenta las consideraciones propuestas. Asimismo, es preciso señalar la utilización de la totalidad del presupuesto del segundo año. Por otra parte, se encontraron distintas maneras para mejorar la solución, por ejemplo, distribuir el presupuesto de forma más eficiente, negociar con proveedores un aumento en su capacidad y una disminución en la cantidad de redondeo. Finalmente se observa que, en caso de planificar un incremento en la demanda, sería necesario aumentar el presupuesto asignado.

Palabras clave: *gestión de inventario, gestión en salud, programación matemática, optimización.*

Keywords: *inventory management, healthcare management, mathematical programming, optimization.*

Índice

1	Introducción.....	9
2	Marco teórico.....	11
2.1	Gestión de Inventario	11
2.2	Gestión de Inventario en Instituciones de Salud.....	13
3	Definición del Problema.....	15
3.1	Descripción del caso	15
3.2	Modelado de la realidad	19
3.3	Simplificaciones y suposiciones	20
4	Modelo matemático	23
4.1	Formulación	23
4.2	Validación del modelo	28
5	Relevamiento y generación de datos.....	29
5.1	Metodología	29
5.2	Datos obtenidos	29
5.3	Dificultades encontradas	35
6	Análisis de resultados.....	37
6.1	Análisis de resultado inicial	37
6.2	Análisis de sensibilidad	50
6.3	Análisis complementarios.....	63
7	Aplicación en la realidad.....	69
7.1	Herramienta para la toma de decisiones	69
7.2	Recomendaciones al Departamento de Hemodinamia.....	70
8	Conclusiones y trabajos futuros.....	71
	Bibliografía	73
	Anexos	77
	Anexo I: Estado del arte.....	77
	Anexo II: Validaciones del modelo	103
	Anexo III: Módulo para la estimación de la demanda por insumo.....	109
	Anexo IV: Licitaciones de la U.C.A.....	111
	Anexo V: Módulo para el ingreso de datos.....	113
	Anexo VI: Módulo para el análisis de resultados.....	115

Índice Tablas

Tabla 5.1: Insumos y características principales.....	30
Tabla 5.2: Clasificación e inventario de seguridad de insumos.....	31
Tabla 5.3: Datos de insumos.....	32
Tabla 5.4: Demanda de insumos por período.....	33
Tabla 5.5: Costos de almacenamiento y quiebre por insumo.....	34
Tabla 6.1: Plan de Compras.....	37
Tabla 6.2: Plan de Compras (cont.).....	38
Tabla 6.3: Costos incurridos en el primer año.....	39
Tabla 6.4: Costos incurridos en el segundo año.....	39
Tabla 6.5: Capacidad de almacenamiento utilizada.....	40
Tabla 6.6: Análisis diferencial de costos Conector Alta Presión Corto.....	43
Tabla 6.7: Plan de compras Catéter Angiográfico Coronario.....	47
Tabla 6.8: Plan de compras Introdutor Radial.....	49
Tabla 6.9: Escenarios de variaciones de presupuesto.....	51
Tabla 6.10: Comparación de presupuesto utilizado.....	53
Tabla 6.11: Distribución de presupuesto por semestre.....	53
Tabla 6.12: Escenarios de variaciones de demanda.....	55
Tabla 6.13: Resultados económicos con variaciones en demanda.....	55
Tabla 6.14: Porcentaje de ocupación con variaciones en demanda.....	56
Tabla 6.15: Resultados económicos con variaciones en cantidad de redondeo.....	57
Tabla 6.16: Resultados económicos con variaciones en costo de almacenamiento.....	58
Tabla 6.17: Comparación de costo de compras con variaciones en costo de almacenamiento.....	59
Tabla 6.18: Resultados económicos con variaciones en el nivel de servicio.....	60
Tabla 6.19: Quiebres con bajo nivel de servicio.....	61
Tabla 6.20: Resultados económicos con variaciones en la cantidad de redondeo.....	61
Tabla 6.21: Resultados económicos con variaciones en el inventario de seguridad.....	62
Tabla 6.22: Frecuencia de intervenciones de Angioplastia.....	64
Tabla 6.23: Frecuencia de intervenciones de Cateterismo.....	64
Tabla 6.24: Arribos de pacientes obtenidos con Distribución de Poisson.....	65
Tabla 6.25: Variaciones de arribos de pacientes con respecto al inicial.....	66
Tabla 6.26: Resultados del Análisis del Plan de compras con reposición de inventario de seguridad.....	67
Tabla II.1: Análisis validación capacidad de almacenamiento.....	107

Índice Figuras

Figura 3.1: Organigrama CCVU.....	16
Figura 3.2: Diagrama del proceso de compras CCVU	18
Figura 6.1: Nivel de inventario	40
Figura 6.2: Capacidad de almacenamiento utilizada.....	41
Figura 6.3: Compras y consumos	41
Figura 6.4: Secuencia de consumos.....	42
Figura 6.5: Compras por insumo	43
Figura 6.6: Nivel de inventario Conector Alta Presión Corto	44
Figura 6.7: Compras por insumo	45
Figura 6.8: Consumos por período de compra Conector Alta Presión Largo	45
Figura 6.9: Compras y consumos Conector Alta Presión Largo.....	46
Figura 6.10: Nivel de inventario Conector Alta Presión Largo.....	46
Figura 6.11: Compras y consumos Llave Rotatoria Hemostática c/válvula Ípsilon	47
Figura 6.12: Nivel de inventario Llave Rotatoria Hemostática c/válvula Ípsilon	48
Figura 6.13: Compras y consumos Introdutor Radial	49
Figura 6.14: Nivel de inventario Introdutor Radial	50
Figura 6.15: Nivel de inventario con aumento de presupuesto	52
Figura 6.16: Consumos por período de compra con cambio de distribución de presupuesto	52
Figura 6.17: Compras y consumos con presupuesto por semestre	54
Figura 6.18: Nivel de inventario con presupuesto por semestre	54
Figura 6.19: Consumos con costo de almacenamiento nulo.....	59
Figura 6.20: Nivel de inventario con costo de almacenamiento nulo.....	59
Figura 6.21: Nivel de inventario Conector Alta Presión Corto con bajo costo de quiebre.....	62
Figura II.1: Diagrama de referencia para validaciones.....	103
Figura II.2: Solución obtenida validación orden de consumo	104
Figura II.3: Solución obtenida validación cantidad de quiebres.....	105
Figura II.4: Solución obtenida validación nivel de servicio	106
Figura II.5: Solución obtenida validación presupuesto	107
Figura II.6: Solución obtenida validación obsolescencia	108
Figura III.1: Módulo para la estimación de la demanda por insumo	109
Figura III.2: Demanda por insumo	110
Figura V.1: Módulo para el ingreso de datos	113
Figura VI.1: Módulo para el análisis de resultados	115

1 Introducción

En el presente Informe se expone el trabajo realizado sobre la problemática de Gestión de Inventario de Insumos Médicos Especializados.

Los Insumos Médicos Especializados son materiales específicos de alto costo que requieren un manejo técnico adecuado. Se utilizan en intervenciones en las que está en juego el pronóstico vital o funcional del paciente, por lo que es de suma importancia contar con los mismos en tiempo y forma. Esto, sumado al carácter perecedero de dichos insumos, transforma a su Gestión de Inventario en una tarea de alta complejidad.

La problemática en cuestión consiste entonces en la definición de cuánto y cuándo pedir para cumplir con el alto nivel de servicio requerido, considerando las particularidades de este tipo de insumos.

Se realiza un relevamiento de la temática en el Departamento de Hemodinamia del IMAE cardiológico del Hospital de Clínicas, en el que principalmente se llevan a cabo dos tipos de intervenciones: Cateterismos y Angioplastias. La primera es un método de diagnóstico altamente especializado, en el que se estudian las arterias coronarias, válvulas cardíacas, y el funcionamiento de los músculos cardíacos. La Angioplastia es un procedimiento terapéutico que consiste en la dilatación de los vasos sanguíneos, estrechos o bloqueados, que bombean sangre al corazón.

Para la elaboración de este Proyecto, se estudia la forma de adquisición de los insumos que se utilizan en dichos procedimientos y sus características principales (vida útil, volumen y criticidad), el orden de consumo, la asignación del presupuesto, la capacidad de almacenamiento, y las características de los proveedores (precio, capacidad y cantidad de redondeo).

En base a lo anterior, con el objetivo de crear una herramienta para la toma de decisiones de la Gestión de Inventario, se diseña como componente principal un modelo matemático aplicable al caso de estudio.

El modelo matemático desarrollado resulta en un problema de Programación Lineal Entero Mixto, o MILP por sus siglas en inglés, considerando una política de revisión periódica de inventario con múltiples insumos y proveedores con capacidad finita. Se contempla principalmente el cumplimiento de altos niveles de servicio, la vida útil de los insumos, las restricciones presupuestales y la minimización de costos. El modelo es resuelto con el software CPLEX, obteniéndose una solución óptima que contiene el plan de compras sugerido de dos años, considerando el período de consumo.

Se realizan diversos análisis de sensibilidad para estudiar cómo varía la solución frente a modificaciones en distintos parámetros. Así como de robustez para analizar la solidez de la solución frente a posibles variaciones de demanda, estudiando su comportamiento estadístico.

Adicionalmente al plan de compras sugerido, la herramienta para la toma de decisiones brinda: la proyección de costos e inventario, la secuencia de consumo, el cumplimiento de demanda y la capacidad de almacenamiento utilizada. También permite obtener directrices

para la Gestión de Inventario, por ejemplo, evaluar posibles negociaciones con los proveedores, justificar aumentos de presupuesto o decisiones de inversión como ampliar el espacio disponible para almacenamiento.

De la solución inicial se concluye que el valor objetivo está constituido principalmente por el costo de adquisiciones. Para cumplir con la demanda en el segundo año, sería necesario utilizar todo el presupuesto, así como anticipar compras en el primero. Igualmente vale destacar que en ningún caso se dejaría de intervenir al paciente por faltante de insumos. Con los datos utilizados, existiría una capacidad ociosa en el espacio destinado al almacenamiento.

A partir de los análisis de sensibilidad, se detectan distintas maneras para mejorar la solución inicial. Entre ellas se encuentran: distribuir el presupuesto de forma más eficiente, negociar con proveedores un aumento en su capacidad y una disminución en la cantidad de redondeo. También se concluye que el efecto de la variación del nivel de servicio en el valor objetivo es mínimo, ya que la mayoría de los insumos son Vitales y adquirirlos fuera de presupuesto implica un alto costo. Como principal acción a considerar a partir de estos análisis, se obtiene que en caso de planificar un incremento en la demanda, es necesario aumentar también el presupuesto asignado.

Según el análisis de robustez, la sugerencia de compras a largo plazo y el inventario de seguridad utilizado son robustos debido a que se satisface la demanda en los distintos escenarios muestreados.

El documento se organiza de la siguiente manera: en la *Sección 2* se presenta el marco teórico con los principales conceptos; en la *Sección 3* se define el problema, abordando el caso de estudio y el modelado de la realidad con sus simplificaciones y suposiciones. El modelo matemático y las técnicas de validación aplicadas se presentan en la *Sección 4*. En la *Sección 5* se profundiza en el relevamiento y generación de datos, mientras que en la *Sección 6* se analizan los resultados obtenidos y los análisis de sensibilidad y robustez realizados. En la *Sección 7* se presenta la herramienta para la toma de decisiones y se brindan recomendaciones para el caso de estudio; por último, en la *Sección 8* se presentan las conclusiones y las posibles direcciones de trabajos futuros.

2 Marco teórico

En esta Sección se presentan los aspectos generales de la Gestión de Inventario, para luego señalar las particularidades de dicha temática en las Instituciones de Salud y los insumos que gestionan.

Se describen los conceptos fundamentales relacionados a la Gestión de Inventario: la motivación para la existencia de los inventarios, sus costos y clasificaciones, diferentes tipos de rotación de los artículos, componentes de la demanda y distintas políticas de revisión de inventario.

2.1 Gestión de Inventario

La Gestión de Inventario se puede definir como el establecimiento de respuestas a las cuestiones de: cuánto, cómo y cuándo ordenar o producir, para satisfacer un nivel de servicio predeterminado, minimizando la suma de los costos involucrados. A su vez, el nivel de servicio se puede expresar como el porcentaje de la demanda que se satisface a partir del inventario durante un período particular, Schroeder et al. (2011).

La Gestión de Inventario se puede considerar como uno de los componentes de la Gestión de la Cadena de Suministro. Esta es definida por Ballou (2004) como el conjunto de actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes, desde la etapa de extracción de materia prima hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados. Los materiales y la información fluyen en sentido ascendente y descendente en la Cadena de Suministro.

El término inventario, según Ballou (2004), se asocia con las acumulaciones de materias primas, productos en proceso y terminados que se pueden encontrar en diversos niveles de la Cadena de Suministro.

Dentro de los principales motivos para contar con inventario se encuentra el cumplimiento del servicio al cliente, ya que funciona como amortiguador ante las variaciones de la demanda o el suministro.

Se pueden diferenciar cinco tipos de inventario:

- Inventario de reaprovisionamiento o de ciclo: es el necesario para abastecer la demanda durante el período de reaprovisionamiento.
- Inventario de seguridad: es el que busca absorber las variaciones imprevistas e incertidumbres.
- Inventario de especulación: es el que se refiere a manejos financieros.
- Inventario en tránsito o en ductos: es el que se encuentra en movimiento entre los eslabones de la Cadena de Suministro.
- Inventario muerto o perdido: es el que se refiere a los productos con características de deterioro, caducidad o robo.

En lo que respecta a costos de inventario, se definen cuatro tipos: del artículo, de ordenamiento, de faltantes de inventario y de mantenimiento. Este último está asociado a mantener los artículos en el inventario durante un período y consta de tres componentes: costo de capital, costo de almacenamiento y costo de obsolescencia, deterioro o pérdida.

Cuando los artículos del inventario son perecederos, el orden en el cual se consumen se vuelve un factor de suma importancia. Los métodos más usados, según Onal et al. (2015), consideran el consumo según su arribo o su fecha de caducidad. FIFO (First in, First out) es en el que el armado del pedido se realiza con la primera mercadería que ingresa al inventario, y LIFO (Last in, First out), es en el que lo último que ingresa al inventario es lo primero en salir. Los métodos por preferencia según la fecha de caducidad son FEFO y LEFO, (First Expiration, First Out y Last Expiration, First Out), en los que primero se despachan los artículos con vencimiento más próximo o más lejano respectivamente.

Existen distintos modelos de Gestión de Inventario que han ido surgiendo a lo largo del tiempo. Estos se pueden clasificar en dos grandes grupos, por un lado los modelos de revisión continua, en los que el nivel de inventario se monitorea continuamente o luego que ocurre una transacción (Axsäter, 2015). Por otro lado, los de revisión periódica, en los que el nivel de inventario se monitorea en determinados momentos de tiempo pre-estipulados. Como principales componentes de ambos modelos, se pueden considerar la capacidad de aprovisionamiento y los tiempos de entrega del proveedor.

La relación del inventario con el cumplimiento del servicio al cliente lleva a que su gestión esté ligada a los pronósticos de la demanda. Asimismo, estos proporcionan información relevante a todas las áreas de la organización. Son de utilidad para el diseño de nuevos procesos, el análisis de capacidad de plantas o depósitos y la elaboración de proyecciones de necesidades financieras, como indican Ballou (2004) y Schroeder et al. (2011).

La demanda puede clasificarse de distintas maneras, por ejemplo:

- Regular o irregular: en general los artículos forman patrones de demanda en el tiempo llamados “series de tiempo”. En el primer caso, se pueden observar artículos con demandas estacionales o niveladas, mientras que, cuando la demanda es intermitente con un alto grado de incertidumbre, la serie de tiempo es irregular.
- Independiente o dependiente: según si se genera por parte del mercado o está ligada a otros artículos o programas de producción respectivamente.
- Estacionaria o no estacionaria: según la existencia o no de fluctuaciones periódicas en la serie de tiempo.
- Determinística o estocástica: de acuerdo a la aleatoriedad de la misma, si se asume conocida con exactitud, es determinística, mientras que en el modelo estocástico, se aproxima mediante una distribución de probabilidad.

Tanto la determinación de la política de inventario como el modelo de demanda a utilizar, dependen de diversos factores; entre ellos se encuentran: la naturaleza del producto, el nivel de servicio deseado, el tiempo de entrega del proveedor, las restricciones de aprovisionamiento, los patrones de demanda y el período de revisión (Vidal, 2005).

2.2 Gestión de Inventario en Instituciones de Salud

La Cadena de Suministro de Instituciones de Salud es compleja y altamente sensible ya que se debe asegurar que los medicamentos y/o insumos lleguen a los pacientes en tiempo y forma para combatir la enfermedad y/o el sufrimiento. Es decir, un nivel de servicio menor al 100% puede impactar directamente sobre la salud y seguridad de los pacientes.

Es así que algunos autores como Guerrero (2013), sostienen que en el tema de cuidado de salud no existe el concepto de “ventas perdidas”, ya que la demanda debe ser satisfecha por un medio u otro. Es por esto que muchas industrias de artículos e insumos médicos mantienen un alto nivel de inventario (Uthayakumar & Priyan, 2013).

Sin embargo, el exceso de inventario no es una solución adecuada ya que podría convertirse en obsoleto por tratarse de artículos perecederos, cuyo suministro al paciente podría desembocar en efectos potencialmente graves para su salud.

De la mano con la criticidad mencionada, existe una clasificación de los artículos médicos denominada VED. En la misma, “V” hace referencia a los artículos Vitales que el hospital necesita estrictamente para cumplir su función, “E” a los que son Esenciales ya que pueden impactar en la calidad del servicio, y “D” a los Deseables, cuya falta no impacta en el funcionamiento de la Institución.

Vale destacar que la gestión de artículos médicos representa una gran parte de los costos en el sector de la salud debido a sus características, sus requisitos de almacenamiento y control (Kelle et al., 2012).

Distintos autores han investigado la temática de Gestión de Inventario en Instituciones de Salud, presentando casos de estudio y proponiendo modelos matemáticos y métodos de resolución. Del Estado del arte realizado ([Anexo I: Estado del arte](#)), se desprende que, en la mayoría de las investigaciones estudiadas se utilizan modelos matemáticos cuya función objetivo consiste en minimizar los costos. En otros trabajos, se busca maximizar el nivel de servicio, minimizar el nivel de inventario o minimizar la capacidad utilizada. Dentro de los costos considerados, los más recurrentes son los costos de ordenar, costo de almacenar, costo del producto, costo de obsolescencia, costo de quiebres de inventario, costo de transporte, así como también en algunos casos se toman en cuenta los costos financieros. En lo que respecta a adquisiciones excepcionales, por ejemplo, fuera del período o adquisiciones de artículos sustitutos, se consideran costos mayores.

A su vez, las restricciones más utilizadas consideran: el cumplimiento del nivel de servicio, la capacidad de almacenamiento y las políticas de abastecimiento (por ejemplo, lotes mínimos). Otras contemplan las características de los insumos médicos, como la caducidad y las particularidades de manejo y almacenamiento.

En cuanto a los modelos de demanda utilizados, se puede observar que en reiterados casos se la considera una variable aleatoria que sigue una Distribución de Poisson.

Es de resaltar la importancia que dan los autores al análisis de sensibilidad del modelo, reflejando cómo varía la solución al cambiar los valores de los distintos parámetros.

3 Definición del Problema

3.1 Descripción del caso

3.1.1 Contexto general

El presente trabajo se contextualiza en el IMAE (Instituto de Medicina Altamente Especializada) cardiológico del Hospital de Clínicas “Dr. Manuel Quintela”, Facultad de Medicina, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Los usuarios del Hospital de Clínicas son principalmente beneficiarios de la Administración de los Servicios de Salud del Estado (ASSE). También se asiste a beneficiarios de otros sistemas grupales de salud, como los funcionarios de la Universidad de la República, así como a aquellas personas que optan por los servicios de Medicina Altamente Especializada del Hospital y por los usuarios de otros servicios de salud, pero que demandan determinada asistencia o servicio.

La Medicina Altamente Especializada se puede definir como aquella que requiere una gran concentración de recursos humanos y materiales para un escaso número de pacientes. En la misma está en juego el pronóstico vital o funcional, por lo que se busca obtener la excelencia asistencial.

Dentro del Hospital de Clínicas, se encuentran los siguientes IMAE:

- IMAE cardiológico o Centro Cardiovascular Universitario (CCVU), comprende las cátedras de Cardiología, Cirugía Cardíaca, Cirugía Cardiovascular y Unidad de Ataque Cerebrovascular.
- IMAE Nefrológico o Centro de Nefrología, donde los tratamientos que comprende son hemodiálisis, diálisis peritoneal y trasplante renal.

3.1.2 Alcance del análisis

El Centro Cardiovascular Universitario es un centro de diagnóstico, intervención e internación de pacientes. Se realizan estudios hemodinámicos, implantes de marcapasos y cardiodesfibriladores, estudios electrofisiológicos y ablaciones de arritmias, arteriografías y angioplastias periféricas, implantes de endoprótesis aórticas y neuro intervencionismos endovasculares.

El análisis a realizar se enmarca específicamente en el Departamento de Hemodinamia dentro del CCVU (ver [Figura 3.1](#)).

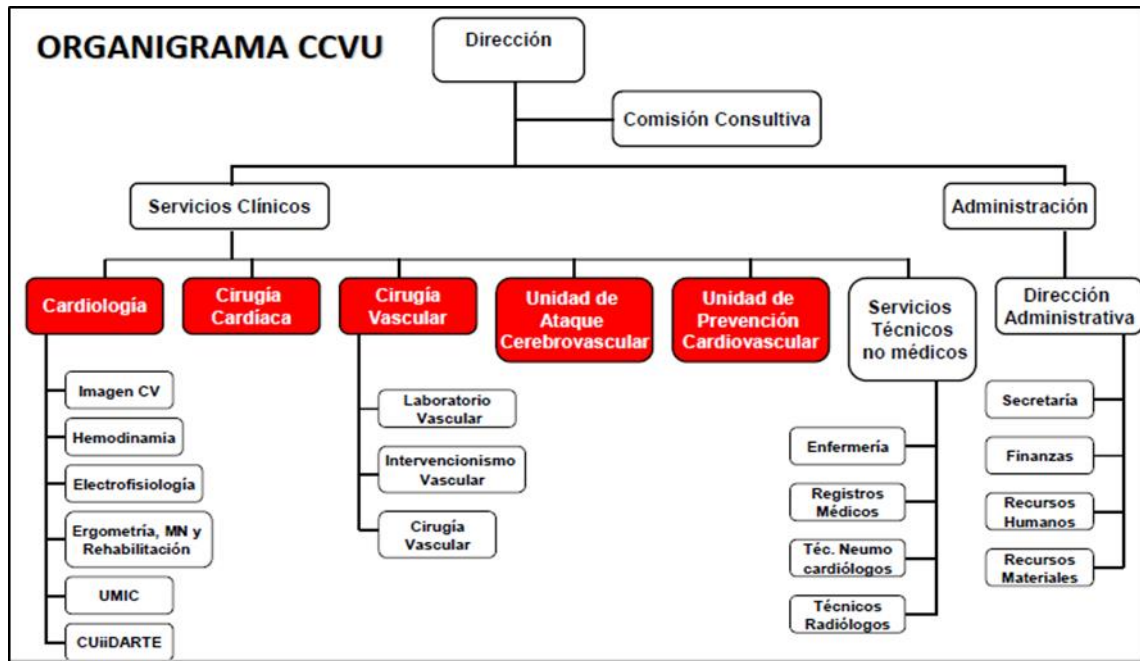


Figura 3.1: Organigrama CCVU

3.1.3 Intervenciones

Los principales procedimientos del Departamento de Hemodinamia son el Cateterismo y la Angioplastia.

El Cateterismo es un método de diagnóstico altamente especializado, en el que se estudian las arterias coronarias, válvulas cardíacas, y el funcionamiento de los músculos cardíacos, de forma de determinar si el paciente necesita realizarse una operación u otro procedimiento.

A grandes rasgos, el Cateterismo consiste en colocar un introductor para el posterior pasaje de una sonda delgada y flexible (guía) hasta la arteria o vena y luego introducir un pequeño tubo de plástico, llamado catéter, hasta el corazón. De esta forma se puede medir la presión e inyectar contraste para ver las cámaras del corazón y las arterias. Se puede realizar por la arteria femoral o por la radial.

Por otro lado, la Angioplastia es un procedimiento terapéutico que consiste en la dilatación de los vasos sanguíneos estrechos o bloqueados que bombean sangre al corazón. En la mayoría de las angioplastias se utiliza un catéter que lleva un pequeño “globo”, denominado balón, que empuja las paredes de la arteria del corazón para recuperar el flujo de sangre.

Aproximadamente el 90% de estas intervenciones se realizan de urgencia y emergencia, mientras que el restante puede coordinarse con aproximadamente diez días de anticipación.

3.1.4 Insumos Médicos Especializados

Los Institutos de Medicina Altamente Especializada utilizan materiales quirúrgicos específicos de alto costo que requieren un manejo técnico adecuado. Por ejemplo: catéteres, guías, stents y balones.

En el Departamento de Hemodinamia, ciertos insumos se utilizan más de una vez con previa re-esterilización. Sin embargo, este procedimiento no siempre resulta en un insumo utilizable dadas sus distintas características. Por su parte, los fabricantes recomiendan que tengan un único uso.

Los insumos especializados tienen vencimiento, por lo que primero se utilizan los insumos con vencimiento más cercano.

El inventario de insumos especializados del Departamento de Hemodinamia se maneja en tres niveles: el Almacén Central del Hospital en el que se recibe, la Sala de Economato donde se almacena la mayor parte, y la Sala de Intervenciones Quirúrgicas en la que se mantiene un mínimo necesario.

Trimestralmente, en la Sala de Economato se realiza un control físico de inventario de estos insumos, verificando vencimiento y cantidades, mientras que en la Sala de Intervenciones, este control es diario.

La adquisición de los insumos en cuestión se puede realizar por tres medios: Unidad de Compras del Hospital de Clínicas, Recursos de Amparo y Sanidad Militar. Para el alcance de este trabajo se consideran únicamente las compras realizadas a través del primer medio.

La Unidad de Compras realiza principalmente pedidos trimestrales en los que se adquieren insumos contemplados en las licitaciones de la Unidad Centralizada de Adquisiciones del Ministerio de Economía y Finanzas (U.C.A.), debiendo respetar el ranking de proveedores establecido. En dichas licitaciones se consolida el precio y la cantidad máxima anual adjudicada.

Para los insumos que no están contemplados en las licitaciones de U.C.A., se realizan compras directas al proveedor deseado.

Por otra parte, los pedidos deben realizarse de acuerdo a la cantidad de redondeo establecida por los proveedores, definida por la cantidad de unidades contenidas en una caja.

3.1.5 Proceso de Compras

Flujo de Proceso

En el diagrama de procesos de la [Figura 3.2](#) se muestran las etapas desde que se detecta la necesidad de un insumo hasta su uso.



Figura 3.2: Diagrama del proceso de compras CCVU

Descripción del proceso

El proceso de pedidos trimestrales se inicia con el control de inventario. La Dirección Administrativa del CCVU, en base a la experiencia y compras anteriores, realiza un plan de compras para el siguiente trimestre. Luego, se envía el pedido tentativo a la Unidad de Compras, en donde se lo evalúa controlando contra el presupuesto anual asignado. Una vez autorizado el gasto por la Dirección, el Departamento Contable emite la Orden de Compra y envía al proveedor.

El tiempo de entrega del proveedor varía entre 60 y 90 días y es posible que el pedido se realice en distintas entregas.

Los pedidos son recibidos en el Almacén Central del Hospital, donde se verifica que lo detallado en el remito de entrega coincida con los insumos recibidos y con lo indicado en la Orden de Compra. Finalizado el control, se da aviso de la recepción al CCVU para que realice el pedido interno.

Una vez que el Departamento de Hemodinamia recibe los insumos, Economato realiza un control especializado para verificar que lo recibido cumpla con las especificaciones técnicas y las fechas de vencimiento acordadas. Si cumple con las condiciones, se almacenan ordenados por vencimiento y tipo de insumo en la Sala de Economato. A su vez, cierta cantidad de insumos se retiran para ser ubicados en las Salas de Intervenciones Quirúrgicas y así mantener un inventario de uso inmediato.

En caso de faltante de insumos al momento de realizar una intervención, se adquiere de urgencia directamente del proveedor, al mismo precio que la compra planificada, o se utiliza un insumo sustituto. Si esto no es posible, se envía al paciente a otro IMAE, perdiendo de esta forma el ingreso que recibe el hospital por la intervención e incurriendo en costos asociados al traslado. Otra modalidad en caso de urgencia, es realizar pedidos al proveedor “a cuenta” del pedido trimestral siguiente.

3.1.6 Síntesis

Al analizar la situación actual de la Gestión de Inventario del CCVU, se podría considerar la misma como una política de revisión periódica, con un período de revisión de tres meses. Existe también la posibilidad de realizar compras fuera de este tiempo en caso de quiebre de inventario.

Se observa que el cálculo de cuánto pedir se realiza en base a datos históricos de compras y se considera que las realizadas fuera del período, no tienen asociado un costo mayor a las planificadas.

La principal limitación que se presenta es la falta de registro de los movimientos internos de inventario. En el sistema informático se ingresan los datos asociados a la recepción del pedido, sin embargo no hay registro de los usos, hasta el siguiente control de inventario.

3.2 Modelado de la realidad

Dada la criticidad que puede ocasionar la falta de Insumos Médicos Especializados al momento de una intervención quirúrgica, el principal objetivo es lograr un sistema de Gestión de Inventario que cumpla con ciertos niveles de servicio al costo mínimo. Esto permitiría la disponibilidad de fondos necesarios para la inversión en otros aspectos y así lograr un mejor servicio al paciente.

El problema de Gestión de Inventario de Insumos Médicos Especializados consiste en determinar para cada período, cuánto pedir de cada insumo y a qué proveedor, para poder cumplir con la demanda minimizando los costos. Además, dado el carácter perecedero de estos insumos, con el objetivo de mantener su trazabilidad, es necesaria la asignación de un período de consumo a las adquisiciones realizadas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se toma la decisión de considerar un modelo de revisión periódica con un horizonte de planificación finito.

Los Insumos Médicos Especializados se clasifican como: Vitales, Esenciales y Deseables (VED) en base a su grado de criticidad. Se definen entonces diferentes niveles de servicio requeridos para cada categoría en relación a las posibles consecuencias de faltantes a la hora de la intervención.

A efectos del modelo matemático, se consideran conocidos los arribos de pacientes y la demanda de insumos. Asimismo, para contemplar las variaciones entre dicha demanda y la realidad, se define un valor de inventario de seguridad por insumo.

Se asigna un presupuesto por conjunto preestablecido de períodos, destinado a la compra y mantenimiento en inventario de los Insumos Médicos Especializados. Este no es acumulable para períodos posteriores, reflejando la realidad de la gestión presupuestal del caso de estudio.

Cuando las adquisiciones realizadas para consumir en cierto período no satisfacen la totalidad de la demanda, se incurre en un costo de quiebre. En estos casos, se utiliza el inventario de seguridad para la intervención y se realiza una compra urgente para su reposición inmediata. En base a la clasificación VED de cada insumo, se define el costo de quiebre como un sobre costo del precio de adquisición, el cual no se incluye en el gasto del presupuesto.

Los Insumos Médicos Especializados tienen vencimiento, por lo que no se permite el consumo de insumos ya obsoletos. Esto también deriva en que el tipo de asignación u orden de prioridad del consumo sea FEFO, es decir primero se utilizan los insumos con vencimiento más próximo.

Por otra parte, cada proveedor establece una cantidad de redondeo y una capacidad máxima de abastecimiento para cada insumo.

Se establece un período inicial en el que no se compra ni se consume, pero se define un nivel de inventario, siendo este el punto de partida de la planificación. Además, se considera un período auxiliar al final del horizonte de planificación, de forma de reflejar el inventario final y asignar el consumo de insumos que no tienen un período establecido para tal fin. En este período con demanda infinita no se realizan compras. No se consideran estos períodos auxiliares para las restricciones ni los costos.

3.3 Simplificaciones y suposiciones

En un modelo en que la demanda se considera conocida, se busca que la solución contemple el cumplimiento del nivel de servicio, mantenga la trazabilidad del inventario y brinde un plan de compras robusto frente a la aleatoriedad de los arribos de pacientes.

Para esto, se define la variable de decisión de compras considerando el período de consumo, la cual permite modelar la asignación FEFO, respetando la vida útil de los insumos.

Se analizaron diferentes posibilidades para modelar los aspectos anteriormente mencionados:

- Limitar la cantidad mínima a comprar para consumir en cada período en base a cálculos estadísticos.
- Considerar que frente al quiebre de inventario se consumen insumos asignados a períodos posteriores.
- Definir que las adquisiciones realizadas para consumir en cierto período sean iguales a la demanda conocida, pero incluyendo que el nivel de inventario sea siempre mayor a un nivel de seguridad.
- Limitar la cantidad máxima a comprar para consumir en cada período, de manera de asignar todas las compras a períodos de consumo.

Luego del análisis de dichas opciones, se decide que:

- Para que toda compra tenga asignado un período de consumo y poder evitar sobrantes, la cantidad adquirida a consumir en cada período debe ser menor o igual a la demanda.
- El cumplimiento del nivel de servicio se obtiene acotando inferiormente la cantidad adquirida a consumir en cada período, de acuerdo al nivel de servicio establecido según la clasificación VED.
- Para amortiguar la incertidumbre de la demanda, se acota inferiormente el nivel de inventario con un valor de seguridad.

Además, se realizan las siguientes suposiciones y simplificaciones de la realidad:

- El abastecimiento por parte de los proveedores se considera instantáneo.
- El costo de pedir es considerado nulo. Si bien existen tiempos administrativos en la adquisición, estos son costos fijos.
- Se supone que la demanda no satisfecha en cierto período, no se abastece en el período siguiente.
- Se considera un único depósito, aunque los insumos se almacenan tanto en Sala de Economato como en Sala Quirúrgica.
- La vida útil del inventario inicial es igual a la que tendría en caso de que se haya adquirido en el período inicial.
- Se supone el orden de prioridad FEFO equivalente a FIFO, ya que las entregas posteriores tienen vencimiento más lejano.
- Para el análisis de demanda no se consideran diferencias entre intervenciones de urgencia y coordinadas.

- No se consideran las particularidades de almacenamiento de cada tipo de insumo. Por ejemplo: las guías deben ir almacenadas verticalmente debido a su forma para evitar daños.

4 Modelo matemático

En esta sección se define formalmente el problema a resolver y su formulación matemática, partiendo del análisis descrito en la *Sección 3*. Este se denomina Gestión de Inventario de Insumos Médicos Especializados (GES.I.I.M.E.).

4.1 Formulación

4.1.1 Conjuntos

I : Insumos Médicos Especializados.

J : Proveedores.

4.1.2 Parámetros

T : Cantidad de períodos en el horizonte de planificación.

K : Capacidad total de almacenamiento.

v_i : Vida útil del insumo i , medida en períodos desde el período de compra t (inclusive).

k_i : Espacio que ocupa una unidad del insumo i .

α_i : Nivel de servicio mínimo exigido al insumo i , definido como el porcentaje de la demanda a satisfacer.

h_i : Costo unitario de almacenamiento del insumo i en un período de tiempo.

q_i : Costo de quiebre de inventario del insumo i .

$InvIni_i$: Inventario inicial del insumo i .

ss_i : Inventario de seguridad del insumo i .

p_{ij} : Precio unitario del insumo i del proveedor j .

Cap_{ij} : Capacidad máxima de abastecimiento del proveedor j del insumo i .

cr_{ij} : Cantidad de redondeo del insumo i establecida por el proveedor j .

D_{it} : Demanda del insumo i en el período t .

B_m : Presupuesto en el conjunto de períodos m .

c_{pp} : Cantidad de períodos incluidos en un período de presupuesto m .

4.1.3 Variables de decisión

x_{ijts} : Cantidad adquirida y recibida en el período t del insumo i del proveedor j para satisfacer la demanda del período s .

I_{it} : Nivel de inventario del insumo i del período t .

cq_{is} : Cantidad de quiebres del insumo i en el período s .

n_{ijt} : Cantidad a pedir al proveedor j del insumo i en el período t expresado en cantidades de redondeo.

z_{its} : Variable binaria que vale 1 si el insumo i es adquirido en el período t para satisfacer la demanda del período s y 0 en caso contrario.

4.1.4 Función Objetivo

Minimizar los costos asociados a la Gestión de Inventario en el horizonte de planificación establecido. Se incluyen los costos de: almacenamiento, adquisición de insumos y quiebre de inventario.

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i \in I} (h_i * I_{it} + \sum_{s=t}^{T+1} \sum_{j \in J} p_{ij} * x_{ijts}) + \sum_{i \in I} q_i * \sum_{s=1}^T cq_{is} \quad (4.1)$$

4.1.5 Restricciones

Definición del nivel de inventario

El nivel de inventario de un insumo i en un período t está dado por el inventario del período anterior, más las compras en t que serán consumidas luego, menos lo adquirido en períodos anteriores que se consume en t .

$$I_{it} = I_{it-1} + \sum_{j \in J} \sum_{s=t+1}^{T+1} x_{ijts} - \sum_{j \in J} \sum_{r=0}^{t-1} x_{ijrt}, \quad \forall i \in I, t = 1, \dots, T \quad (4.2)$$

Definición del período inicial

Se establece cierto nivel de inventario inicial para cada insumo i a consumir en períodos posteriores. Para esto:

Se asigna un nivel de inventario inicial de cada insumo:

$$I_{i0} = InvIni_i, \quad \forall i \in I \quad (4.3)$$

Se asigna el consumo del inventario inicial a períodos posteriores:

$$\sum_{s=1}^{T+1} \sum_{j \in J} x_{ij0s} = I_{i0}, \quad \forall i \in I \quad (4.4)$$

Cumplimiento del inventario de seguridad

El nivel de inventario de cada insumo en todos los períodos debe ser mayor o igual que el nivel de inventario de seguridad definido por insumo.

$$I_{it} \geq ss_i, \quad \forall i \in I, t = 1, \dots, T \quad (4.5)$$

Compras sujetas a la cantidad de redondeo

Se considera que la cantidad a pedir de cada insumo i en cada período debe ser múltiplo de la cantidad de redondeo establecida por el proveedor.

$$\sum_{s=t}^{T+1} x_{ijts} = n_{ijt} * cr_{ij}, \quad t = 1, \dots, T, \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.6)$$

Obsolescencia

En cada período t , no se debe adquirir insumos i a consumirse en períodos posteriores a su vida útil.

$$x_{ijts} = 0, \quad \forall i \in I, \forall j \in J, t = 0, \dots, T, s = t + v_i, \dots, T \quad (4.7)$$

Asignación de consumo

Todo insumo i adquirido para satisfacer la demanda del período s debe consumirse en el mismo, por lo que, la totalidad de compras de cada insumo a consumir en cierto período no puede superar a su demanda.

$$\sum_{t=0}^s \sum_{j \in J} x_{ijts} \leq D_{is}, \quad \forall i \in I, s = 1, \dots, T \quad (4.8)$$

Cumplimiento del nivel de servicio

La cantidad de unidades adquiridas del insumo i para consumir en el período s debe ser mayor o igual a la cantidad mínima necesaria para cumplir con el nivel de servicio definido para cada insumo.

$$\sum_{t=0}^s \sum_{j \in J} x_{ijts} \geq \alpha_i * D_{is}, \quad \forall i \in I, s = 1, \dots, T \quad (4.9)$$

Prioridad de consumo FEFO

La prioridad de consumo debe ser según el vencimiento, lo que es equivalente a consumir antes lo que arriba primero.

$$z_{its} + z_{iuw} \leq 1, \quad \forall i \in I; t, s, u, w = 0, \dots, T + 1, \forall t < u \leq w < s \quad (4.10)$$

Activación de la variable binaria z_{its} :

$$\sum_{j \in J} x_{ijts} \leq D_{is} * z_{its}, \quad \forall i \in I, s = 1, \dots, T+1, t = 0, \dots, T, s \geq t \quad (4.11)$$

Cumplimiento de presupuesto

Los costos incurridos en el período de presupuesto m no deben superar el valor del presupuesto asignado.

$$\sum_{t=cpp*(m-1)+1}^{cpp*m} \sum_{i \in I} \left(h_i * I_{it} + \sum_{s=t}^{T+1} \sum_{j \in J} p_{ij} * x_{ijts} \right) \leq B_m, \quad m = 1, \dots, T/cpp \quad (4.12)$$

Definición de la cantidad de quiebres

Se define la cantidad de quiebres por insumo y período de consumo como la diferencia entre la demanda y la cantidad adquirida para consumir en el período en cuestión.

$$cq_{is} = D_{is} - \sum_{t=0}^s \sum_{j \in J} x_{ijts}, \quad \forall i \in I, s = 1, \dots, T \quad (4.13)$$

Cumplimiento de la capacidad del proveedor

No se puede realizar un pedido mayor a la capacidad máxima del proveedor.

$$\sum_{s=t}^{T+1} x_{ijts} \leq Cap_{ij}, \quad \forall j \in J, \forall i \in I, t = 1, \dots, T \quad (4.14)$$

Capacidad máxima de almacenamiento

El espacio ocupado por el nivel máximo de inventario no debe superar la capacidad total de almacenamiento. El nivel máximo de inventario en un período es el inventario anterior más las compras realizadas en este.

$$\sum_{i \in I} k_i * \left(\sum_{j \in J} \sum_{s=t}^{T+1} x_{ijts} + I_{it-1} \right) \leq K, \quad t = 1, \dots, T \quad (4.15)$$

Restricciones de dominio de las variables

$$cq_{is} \geq 0, \quad \forall i \in I, s = 1, \dots, T \quad (4.16)$$

$$x_{ijts} \geq 0, \quad \forall i \in I, \forall j \in J, t = 0, \dots, T, s = 1, \dots, T+1, s \geq t \quad (4.17)$$

$$n_{ijt} \in Z^+, \quad \forall i \in I, \forall j \in J, t = 0, \dots, T \quad (4.18)$$

$$z_{its} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, t = 0, \dots, T, s = 1, \dots, T+1, s \geq t \quad (4.19)$$

4.1.6 Formulación del Problema GES.I.I.M.E

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i \in I} (h_i * I_{it} + \sum_{s=t}^{T+1} \sum_{j \in J} p_{ij} * x_{ijts}) + \sum_{i \in I} q_i * \sum_{s=1}^T cq_{is} \quad (4.1)$$

Sujeto a:

$$I_{it} = I_{it-1} + \sum_{j \in J} \sum_{s=t+1}^{T+1} x_{ijts} - \sum_{j \in J} \sum_{r=0}^{t-1} x_{ijrt}, \quad \forall i \in I, t = 1, \dots, T \quad (4.2)$$

$$I_{i0} = InvIni_i, \quad \forall i \in I \quad (4.3)$$

$$\sum_{s=1}^{T+1} \sum_{j \in J} x_{ij0s} = I_{i0}, \quad \forall i \in I \quad (4.4)$$

$$I_{it} \geq ss_i, \quad \forall i \in I, t = 1, \dots, T \quad (4.5)$$

$$\sum_{s=t}^{T+1} x_{ijts} = n_{ijt} * cr_{ij}, \quad t = 1, \dots, T, \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.6)$$

$$x_{ijts} = 0, \quad \forall i \in I, \forall j \in J, t = 0, \dots, T, s = t + v_i, \dots, T \quad (4.7)$$

$$\sum_{t=0}^s \sum_{j \in J} x_{ijts} \leq D_{is}, \quad \forall i \in I, s = 1, \dots, T \quad (4.8)$$

$$\sum_{t=0}^s \sum_{j \in J} x_{ijts} \geq \alpha_i * D_{is}, \quad \forall i \in I, s = 1, \dots, T \quad (4.9)$$

$$z_{its} + z_{iuw} \leq 1, \quad \forall i \in I; t, s, u, w = 0, \dots, T + 1, \forall t < u \leq w < s \quad (4.10)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijts} \leq D_{is} * z_{its}, \quad \forall i \in I, s = 1, \dots, T + 1, t = 0, \dots, T, s \geq t \quad (4.11)$$

$$\sum_{t=cpp*(m-1)+1}^{cpp*m} \sum_{i \in I} (h_i * I_{it} + \sum_{s=t}^{T+1} \sum_{j \in J} p_{ij} * x_{ijts}) \leq B_m, \quad m = 1, \dots, T/cpp \quad (4.12)$$

$$cq_{is} = D_{is} - \sum_{t=0}^s \sum_{j \in J} x_{ijts}, \quad \forall i \in I, s = 1, \dots, T \quad (4.13)$$

$$\sum_{s=t}^{T+1} x_{ijts} \leq Cap_{ij}, \quad \forall j \in J, \forall i \in I, t = 1, \dots, T \quad (4.14)$$

$$\sum_{i \in I} k_i * (\sum_{j \in J} \sum_{s=t}^{T+1} x_{ijts} + I_{it-1}) \leq K, \quad t = 1, \dots, T \quad (4.15)$$

$$cq_{is} \geq 0, \quad \forall i \in I, s = 1, \dots, T \quad (4.16)$$

$$x_{ijts} \geq 0, \quad \forall i \in I, \forall j \in J, t = 0, \dots, T, s = 1, \dots, T + 1, s \geq t \quad (4.17)$$

$$n_{ijt} \in Z^+, \quad \forall i \in I, \forall j \in J, t = 0, \dots, T \quad (4.18)$$

$$z_{its} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, t = 0, \dots, T, s = 1, \dots, T + 1, s \geq t \quad (4.19)$$

4.2 Validación del modelo

Las validaciones tienen como objetivo verificar el modelo, comparando el resultado obtenido con el esperado.

Se realizan pruebas unitarias por restricción considerando casos límite, por ejemplo, presupuesto nulo en un período, baja capacidad del proveedor, alta cantidad de redondeo. Para las validaciones se consideraron tres períodos, dos insumos, dos proveedores e inventario de seguridad de una unidad.

En los casos en los que la validación devela una falla u oportunidad de mejora en el modelo, se realizan modificaciones, validándolo nuevamente.

Finalizado el proceso, se verifica que el modelo definido cumple con lo esperado.

Las validaciones se realizaron utilizando la herramienta de resolución de GLPK y se detallan en el [Anexo II: Validaciones del modelo](#).

5 Relevamiento y generación de datos

5.1 Metodología

Para la obtención de datos fueron realizadas las siguientes actividades:

- Visitas al Departamento de Hemodinamia del Hospital de Clínicas. Se realiza un relevamiento de los insumos y se observan procesos de trabajo.
- Entrevistas con la Dirección Administrativa del CCVU y con el personal que maneja los Insumos Médicos Especializados.
- Investigación de intervenciones y del uso de Insumos Médicos Especializados mediante lectura de información disponible, observación de una intervención y explicaciones brindadas por especialistas.
- Asistencia al curso de Economía y Gestión de Organizaciones de Salud en la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, UdelaR, con el objetivo de comprender mejor el contexto del trabajo y sus particularidades.
- Estudio del método de compras centralizadas del Ministerio de Economía y Finanzas utilizado para la adquisición de los insumos, analizando las licitaciones de la U.C.A..

5.2 Datos obtenidos

5.2.1 Períodos

Los períodos tienen una duración de tres meses ya que las compras se realizan con dicha frecuencia. Se considera una planificación con horizonte de dos años, por ende de ocho períodos.

5.2.2 Insumos

Se consideran los insumos adquiridos a través de la Unidad de Compras del Hospital de Clínicas. Dichos insumos son identificados por el número definido en las licitaciones de la U.C.A. y por el código interno asignado en el CCVU.

A partir del registro de compras de 2016 y primer trimestre de 2017, se obtiene un listado reducido a los insumos utilizados en las intervenciones del Departamento de Hemodinamia.

No se consideran insumos adquiridos puntualmente para investigación o realización de pruebas concretas. Tampoco se toman en cuenta los insumos financiados por el Fondo Nacional de Recursos, por ejemplo los stents, debido a que son otorgados a consignación, no se adquieren con el presupuesto asignado y tampoco son almacenados con los demás insumos.

El resultado final es un listado con 21 insumos.

La información asociada a la vida útil de los insumos se releva de su empaque. En consideración de que dicho plazo se establece desde la fecha de fabricación, y que en el modelo se lo considera a partir del período de ingreso al CCVU, se reduce la vida útil relevada un 20%. Esta disminución busca contemplar el tiempo que demora el CCVU en recibir los insumos, debido a tiempos de importación y recepción.

El volumen ocupado por insumo fue dimensionado en centímetros cúbicos y se obtuvo a través del relevamiento realizado en la Sala de Economato.

En la [Tabla 5.1](#) se muestran los insumos y sus características principales.

Descripción	Código interno	Vida útil (Períodos)	Volumen (cm ³)
Balón Angioplastia Coronaria	3-8-12-238	10	1013
Balón Contrapulsación	3-8-12-442	10	6438
Catéter Angiográfico Coronario	3-8-12-381	10	1980
Catéter Aspiración de Coagulación	3-8-12-441	3	2366
Conector Alta Presión Corto	3-8-12-207	10	518
Conector Alta Presión Largo	3-10-11-28	11	377
Guía Angioplastia Coronaria	3-8-12-485	10	1980
Guía Diagnóstico Teflonada Corta	3-8-13-07	6	419
Guía Diagnóstico Teflonada Larga	3-8-13-94	6	419
Guía Hidrofílica Corta	3-8-13-36	6	491
Guía Hidrofílica Larga	3-8-13-3	10	504
Introduccion Femoral Corto	3-8-15-04	10	639
Introduccion Femoral Largo-Vaina	3-8-15-21	10	1279
Introduccion Radial	3-8-15-39	6	2138
Jeringa Bomba 150CC	3-6-10-52	10	1176
Jeringa de Insuflación p/ Angioplastia	3-6-10-32	3	2393
Jeringa Descartable Pico Luer 10cc	3-6-10-21	10	50
Llave Rotatoria Hemostática c/Válvula Ípsilon	3-10-16-12	10	405
Rampa "Manifold" desc. de 2 vías	3-10-16-06	13	378
Torque para Guía de Angioplastia	3-8-21-02	10	2116
Trasdutor Descartable con Intraflow	3-10-17-8	13	914

Tabla 5.1: Insumos y características principales

La clasificación de los insumos que se muestra en la [Tabla 5.2](#) fue realizada considerando las consecuencias de faltantes, así como la existencia de insumos sustitutos. En base a esta se define el nivel de servicio a cumplir para cada insumo. Para los insumos Vitales se establece un nivel de servicio de 100%, para los Esenciales 90% y para los Deseables 85%.

El inventario de seguridad es estimado como el necesario para abastecer el mes de mayor demanda, generando los datos que se muestran en la [Tabla 5.2](#). Dicho valor fue validado por expertos del CCVU a través de entrevistas.

Descripción	Clasificación VED	Inventario de seguridad (unidades)
Balón Angioplastia Coronaria	Vital	60
Balón Contrapulsación	Vital	2
Catéter Angiográfico Coronario	Vital	57
Catéter Aspiración de Coagulación	Vital	21
Conector Alta Presión Corto	Esencial	74
Conector Alta Presión Largo	Vital	173
Guía Angioplastia Coronaria	Vital	56
Guía Diagnóstico Teflonada Corta	Vital	74
Guía Diagnóstico Teflonada Larga	Vital	25
Guía Hidrofílica Corta	Esencial	74
Guía Hidrofílica Larga	Vital	74
Introduccion Femoral Corto	Vital	22
Introduccion Femoral Largo-Vaina	Deseable	11
Introduccion Radial	Vital	64
Jeringa Bomba 150CC	Esencial	11
Jeringa de Insuflación p/ Angioplastia	Vital	41
Jeringa Descartable Pico Luer 10cc	Vital	148
Llave Rotatoria Hemostática c/Válvula Ípsilon	Vital	74
Rampa "Manifold" desc. de 2 vías	Vital	74
Torque para Guía de Angioplastia	Vital	74
Trasdutor Descartable con Intraflow	Vital	74

Tabla 5.2: Clasificación e inventario de seguridad de insumos

5.2.3 Datos de Proveedores

Las licitaciones de la U.C.A. establecen para cada insumo un listado de proveedores, ordenado por precio. En estas también se especifica la capacidad y cantidad de redondeo.

En la [Tabla 5.3](#) se presenta la información de precio, cantidad de redondeo y capacidad de los primeros tres proveedores definidos de cada insumo (ver [Anexo IV: Licitaciones de la U.C.A.](#) por detalle de proveedores por insumo).

Código	Proveedor A			Proveedor B			Proveedor C		
	Cr (un)	P (\$)	Cap (un)	Cr (un)	P (\$)	Cap (un)	Cr (un)	P (\$)	Cap (un)
3-8-12-238	1	3405	106	1	3623	318	1	4561	318
3-8-12-442	1	13674	4	-	-	-	-	-	-
3-8-12-381	1	437	71	1	513	423	1	642	916
3-8-12-441	1	11285	558	1	17496	62	-	-	-
3-8-12-207	25	189	200	-	-	-	-	-	-
3-10-11-28	1	34	49410	-	-	-	-	-	-
3-8-12-485	1	2208	140	1	2292	636	1	2458	636
3-8-13-07	1	452	225	-	-	-	-	-	-
3-8-13-94	1	1780	88	5	2591	352	--	--	--
3-8-13-36	1	2008	60	1	2041	920	1	2061	123
3-8-13-3	10	980	196	1	1729	393	1	2333	393
3-8-15-04	1	561	279	-	-	-	-	-	-
3-8-15-21	1	3923	132	-	-	-	-	-	-
3-8-15-39	1	861	148	1	1050	1332	-	-	-
3-6-10-52	1	422	100	-	-	-	-	-	-
3-6-10-32	1	1650	138	-	-	-	-	-	-
3-6-10-21	1	18	4000	-	-	-	-	-	-
3-10-16-12	5	387	700	-	-	-	-	-	-
3-10-16-06	25	216	200	-	-	-	-	-	-
3-8-21-02	10	171	704	-	-	-	-	-	-
3-10-17-8	1	577	9060	1	1102	80	-	-	-

Tabla 5.3: Datos de insumos

5.2.4 Demanda

La demanda de insumos se estima en base al número de intervenciones y la cantidad de insumos necesarios para su realización. Para estimar esta cantidad, se aplica la técnica de

“Juicio de Expertos” a partir de tres fuentes: Médicos especialistas, Dirección Administrativa del CCVU y personal de Economato.

Finalmente, con los datos históricos de intervenciones mensuales de 2015 y 2016, se calcula la demanda de insumos por período, la cual se muestra en la [Tabla 5.4](#).

Insumo	Período							
	1	2	3	4	5	6	7	8
3-10-11-28	378	427	499	469	413	495	443	518
3-10-16-06	162	183	214	201	177	212	190	222
3-10-16-12	162	183	214	201	177	212	190	222
3-10-17-8	162	183	214	201	177	212	190	222
3-6-10-21	324	366	428	402	354	424	380	444
3-6-10-32	88	102	118	120	93	120	106	121
3-8-12-238	130	151	174	177	137	177	156	179
3-8-12-381	123	143	165	168	130	168	148	169
3-8-12-485	122	141	163	166	128	166	146	167
3-8-13-07	162	183	214	201	177	212	190	222
3-8-13-36	162	183	214	201	177	212	190	222
3-8-21-02	162	183	214	201	177	212	190	222
3-8-12-442	3	3	3	3	3	3	3	3
3-8-12-441	44	51	59	60	47	60	53	61
3-8-12-207	162	183	214	201	177	212	190	222
3-8-13-94	54	61	71	67	59	71	63	74
3-8-13-3	162	183	214	201	177	212	190	222
3-8-15-39	139	157	183	172	152	182	163	190
3-8-15-04	46	52	61	57	51	61	54	63
3-8-15-21	23	26	31	29	25	30	27	32
3-6-10-52	23	26	31	29	25	30	27	32

Tabla 5.4: Demanda de insumos por período

5.2.5 Costos

La función objetivo consta de tres componentes correspondientes a los costos de adquisición, quiebres y almacenamiento de insumos.

Para determinar el costo de quiebre, es decir, el costo de adquirir un insumo de urgencia para reponer el inventario de seguridad, se considera su clasificación VED y el precio del proveedor menos costoso. Si es un insumo Vital, se incurre en un costo del triple del precio, si es Esencial del doble y si es Deseable el incremento es de la mitad.

El costo de almacenamiento se estima por recomendación de la Dirección Administrativa del CCVU, en un 10% del precio de adquisición del proveedor menos costoso. Este valor está asociado principalmente a costos financieros.

En resumen, se muestran a continuación (Tabla 5.5) los costos unitarios de quiebre y de almacenamiento.

Descripción	Costo de almacenamiento (\$)	Costo de Quiebre (\$)
Balón Angioplastia Coronaria	341	10215
Balón Contrapulsación	1367	41022
Catéter Angiográfico Coronario	44	1311
Catéter Aspiración de Coagulación	1129	33855
Conector Alta Presión Corto	19	378
Conector Alta Presión Largo	3	102
Guía Angioplastia Coronaria	221	6624
Guía Diagnóstico Teflonada Corta	45	1356
Guía Diagnóstico Teflonada Larga	178	5340
Guía Hidrofílica Corta	201	4016
Guía Hidrofílica Larga	98	2940
Introduccion Femoral Corto	56	1683
Introduccion Femoral Largo-Vaina	392	5885
Introduccion Radial	86	2583
Jeringa Bomba 150CC	42	844
Jeringa de Insuflación p/ Angioplastia	165	4950
Jeringa Descartable Pico Luer 10cc	2	54
Llave Rotatoria Hemostática c/Válvula Ípsilon	39	1161
Rampa "Manifold" desc. de 2 vías	22	648
Torque para Guía de Angioplastia	17	513
Trasductor Descartable con Intraflow	58	1731

Tabla 5.5: Costos de almacenamiento y quiebre por insumo

5.2.6 Almacenamiento

La capacidad total de almacenamiento se define como el espacio disponible en el Departamento de Hemodinamia para almacenar los insumos considerados: $6.107.123 \text{ cm}^3$.

5.2.7 Inventario inicial

Se considera el valor del inventario inicial igual al inventario de seguridad. Esto se asocia a la suposición de que al finalizar el horizonte de planificación se debe contar con un nivel de inventario igual o mayor al de seguridad, con el cual se iniciaría un nuevo ciclo.

5.2.8 Presupuesto

El presupuesto asignado es anual y los períodos son trimestrales, por lo que cada presupuesto abarca cuatro períodos.

El presupuesto para ambos años se considera igual al asignado en el 2016: \$13.524.252.

5.3 Dificultades encontradas

Durante el relevamiento se presentaron dificultades que llevaron a realizar simplificaciones para lograr el conjunto de datos mencionados. A saber,

- Algunos insumos se presentan en diferentes marcas y modelos, pudiendo tener diversas curvaturas, diámetros, etcétera. Según las características del paciente se selecciona uno u otro. Sin embargo, su funcionalidad es la misma y tienen igual precio y volumen, por lo que se consideran como un único insumo. Es importante notar que dichos insumos se encuentran registrados bajo el mismo código en la U.C.A..
- El sistema informático con el que cuenta el CCVU no contempla el registro de los consumos. En cada intervención se registra en papel la cantidad de insumos utilizados, siendo esta información incompleta y de complejo procesamiento, por lo que se decide estimar la demanda a través de las intervenciones como se menciona en la *Sección 5.2*.
- Se observan variantes en la nomenclatura de los listados de insumos de las licitaciones de la U.C.A. y del interno del CCVU. Se unificaron criterios en código y descripción de insumos.

6 Análisis de resultados

6.1 Análisis de resultado inicial

El siguiente análisis se encuentra estructurado en dos pilares centrales. En el primero se analiza en términos generales la solución obtenida, mientras que en el segundo se profundiza en ciertos grupos de insumos que se consideran interesantes por los motivos a detallar.

6.1.1 Resultados generales

Solución obtenida

Se utilizó el software CPLEX, limitando el tiempo de ejecución en 3.600 segundos. Se alcanzó una solución factible, cuya diferencia con el valor óptimo es menor o igual a 0,02%. Luego se ejecutó el mismo programa sin límite de tiempo, pero con los costos multiplicados por un factor de 0,001, con el fin de disminuir la diferencia entre las magnitudes de los datos. La solución se encontró a los 7.460 segundos por lo que se puede concluir que la solución obtenida con el problema inicial fue la óptima.

Plan de compras

Como característica general del plan de compras obtenido a partir de la solución óptima, se destaca que la totalidad de las compras se realizan a los proveedores A y B (según el orden establecido por la licitación de la U.C.A. en la que se prioriza por precio). Además se realizan adquisiciones en todos los períodos, dándose el máximo en el cuarto y el mínimo en el quinto.

En la [Tabla 6.1](#) y la [Tabla 6.2](#) se presenta el plan de compras, detallando insumo, proveedor y período de adquisición.

Insumo	Proveedor	Período							
		1	2	3	4	5	6	7	8
3-10-11-28	Bioerix S.A.	378	427	499	881	1	495	443	518
3-10-16-06	Nafferton S.A.	175	200	200	200	200	200	200	200
3-10-16-12	Nafferton S.A.	165	180	215	200	180	210	190	225
3-10-17-8	Key Medical S.A.	162	183	214	201	177	212	190	222
3-6-10-21	Günter Schaaf S.A.	324	366	428	403	353	424	380	444
3-6-10-32	Nafferton S.A.	88	102	118	120	93	120	106	121
3-6-10-52	Química Cenit	23	26	31	30	24	30	27	32
3-8-12-207	Sanyfico S.A.	175	200	200	200	175	200	200	200

Tabla 6.1: Plan de Compras

Insumo	Proveedor	Período							
		1	2	3	4	5	6	7	8
3-8-12-238	Nipro Medical Corp.	106	106	106	106	106	106	106	106
3-8-12-238	Sanyfico S.A.	24	45	68	82	20	71	50	73
3-8-12-381	Nipro Medical Corp.	71	71	71	71	71	71	71	71
3-8-12-381	Sanyfico S.A.	52	72	94	156	-	97	77	98
3-8-12-441	Idersyl S.A.	44	51	59	60	47	60	53	61
3-8-12-442	Idersyl S.A.	3	3	3	3	3	3	3	3
3-8-12-485	Sanyfico S.A.	122	140	140	140	128	140	140	140
3-8-12-485	Idersyl S.A.	-	1	23	26	-	26	6	27
3-8-13-07	Nafferton S.A.	162	183	214	201	177	212	190	222
3-8-13-3	Nafferton S.A.	190	190	190	190	190	190	190	190
3-8-13-3	Sanyfico S.A.	-	-	-	-	-	9	-	32
3-8-13-36	Badesur S.A.	102	123	154	141	117	152	130	162
3-8-13-36	Nipro Medical Corp.	60	60	60	60	60	60	60	60
3-8-13-94	Sanyfico S.A.	54	61	71	67	59	71	63	74
3-8-15-04	Idersyl S.A.	46	52	61	57	51	61	54	63
3-8-15-21	Sanyfico S.A.	23	26	31	29	25	30	27	32
3-8-15-39	Medcore S.A.	-	-	35	28	-	34	15	42
3-8-15-39	Sanyfico S.A.	148	148	148	148	148	148	148	148
3-8-21-02	Nafferton S.A.	170	180	210	200	180	210	190	230
Total		2867	3196	3643	4000	2585	3642	3309	3796

Tabla 6.2: Plan de Compras (cont.)

Costos y presupuesto

Se obtiene que el valor óptimo para el horizonte de planificación establecido es de **\$26.717.687**. Dicho valor se compone:

- 96,2% por la adquisición de los insumos (\$25.711.234).
- 3,75% por el mantenimiento de inventario (\$1.002.295).
- 0,0156 % por los costos de quiebre de inventario (\$4.158).

En lo que respecta a la relación de costos y presupuesto asignado, sin considerar los costos de quiebre de inventario, se observa que, en el primer año se utiliza un 97,5% del presupuesto, mientras que en el segundo año se incurre en la totalidad del mismo. Esto se podría relacionar con el leve aumento en la demanda (5%) en el segundo año que provoca un incremento del 3% en el costo de compras.

En la [Tabla 6.3](#) y la [Tabla 6.4](#) se detallan los costos incurridos por período.

Tipo de costo	1	2	3	4	TOTAL
Costo de almacenamiento (\$)	126.557	126.998	124.043	130.839	508.437
Costo de compras (\$)	2.671.056	3.014.923	3.475.375	3.519.495	12.680.849
Costo de quiebres (\$)	-	-	-	-	0
Valor objetivo (\$)	2.797.613	3.141.921	3.599.418	3.650.334	13.189.286

Tabla 6.3: Costos incurridos en el primer año

Tipo de costo	5	6	7	8	TOTAL
Costo de almacenamiento (\$)	124.778	122.900	123.310	122.870	493.858
Costo de compras (\$)	2.751.883	3.511.127	3.128.876	3.638.499	13.030.385
Costo de quiebres (\$)	-	-	-	4.158	4.158
Valor objetivo (\$)	2.876.661	3.634.027	3.252.186	3.765.527	13.528.401

Tabla 6.4: Costos incurridos en el segundo año

El costo total asociado a cada período tiene un promedio de \$3.339.711 con una desviación estándar de \$375.489.

El costo de almacenamiento presenta un máximo en el cuarto período, ya que un 45% de las adquisiciones realizadas en este se almacenan para consumirse en el siguiente año, logrando el cumplimiento del nivel de servicio y respetando el presupuesto asignado.

Nivel de inventario

En la mayoría de los períodos, el nivel de inventario es muy cercano al inventario de seguridad, como se puede observar en la [Figura 6.1](#). No obstante, en el cuarto período, existe un notorio aumento en las unidades almacenadas.

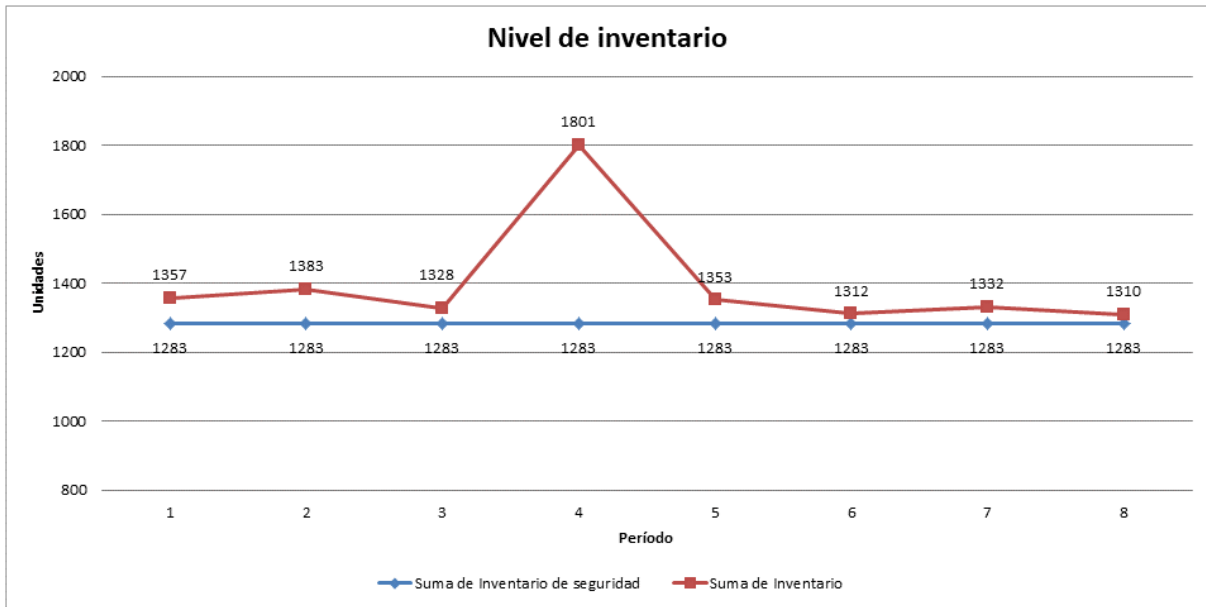


Figura 6.1: Nivel de inventario

En la [Tabla 6.5](#) se observa que en todos los períodos el espacio utilizado varía entre el 60% y 75% de la capacidad disponible. Siendo el primer período en el que menos espacio se utiliza, contrariamente al cuarto en el cual se utiliza un 75%. Como se visualiza en la [Figura 6.2](#), en todos los casos existe espacio libre de almacenamiento de al menos 25%.

Periodo	Capacidad utilizada (cm ³)	Capacidad Disponible (cm ³)	Ocupación (%)
1	3.640.316	6.107.123	60%
2	3.974.662	6.107.123	65%
3	4.395.741	6.107.123	72%
4	4.581.961	6.107.123	75%
5	3.803.142	6.107.123	62%
6	4.390.487	6.107.123	72%
7	4.044.904	6.107.123	66%
8	4.500.293	6.107.123	74%
Promedio	4.166.438	6.107.123	68%

Tabla 6.5: Capacidad de almacenamiento utilizada

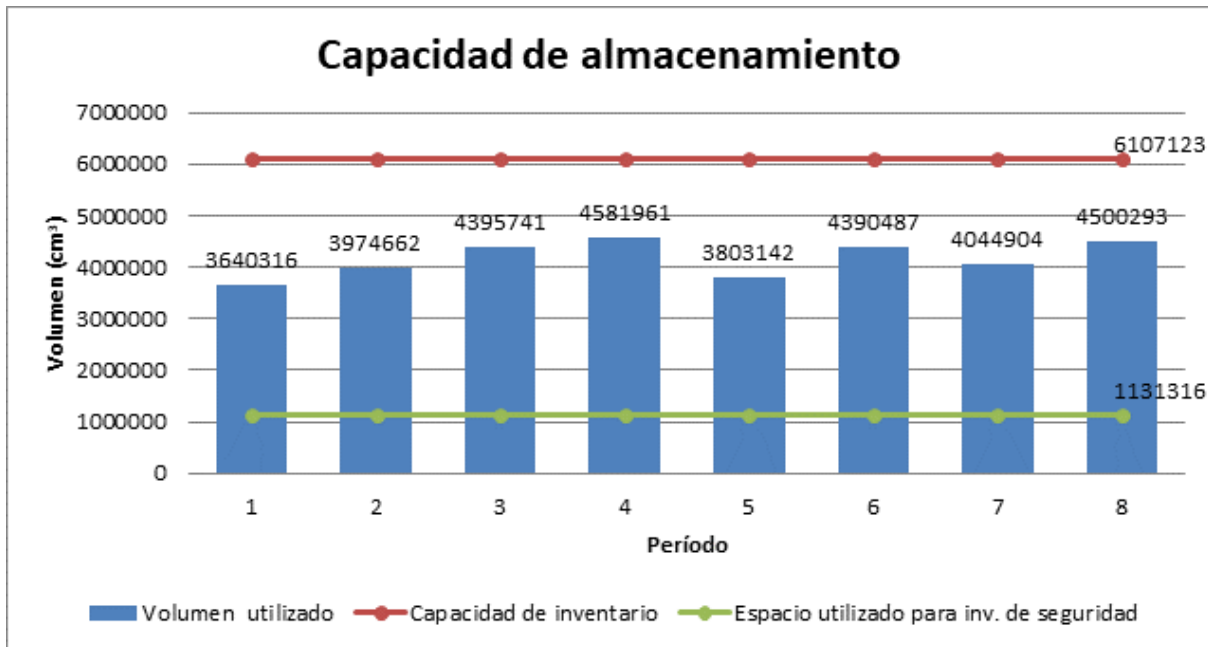


Figura 6.2: Capacidad de almacenamiento utilizada

Compras y consumos

En la mayoría de los períodos las adquisiciones coinciden con la demanda, la cual es satisfecha en todos los casos a excepción de un insumo en el último período.

Una particularidad se presenta en los períodos cuatro y cinco (Figura 6.3), en los que un alto porcentaje de las compras realizadas en el cuarto período, se consumen en el quinto, disminuyendo las adquisiciones de este último.

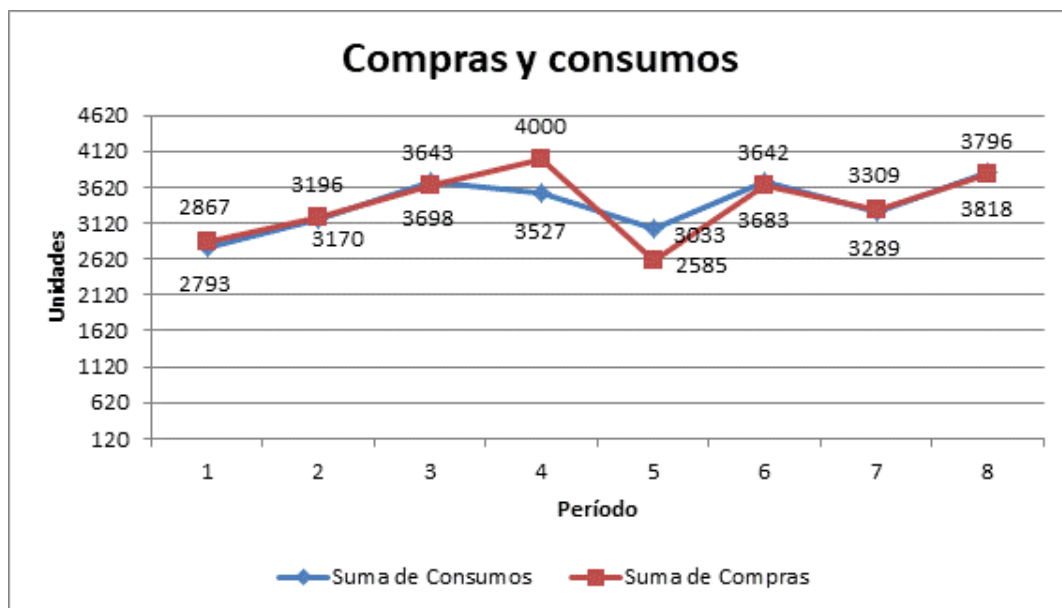


Figura 6.3: Compras y consumos

En la Figura 6.4 se visualiza la asignación de consumos de las unidades adquiridas. Es posible notar que, únicamente en el cuarto período se realizan compras para consumir dos

períodos posteriores al de la adquisición. Esto refleja una alta rotación del inventario, respetando el consumo FEFO y el límite de vencimiento. Vale destacar que la mínima vida útil es de tres períodos.

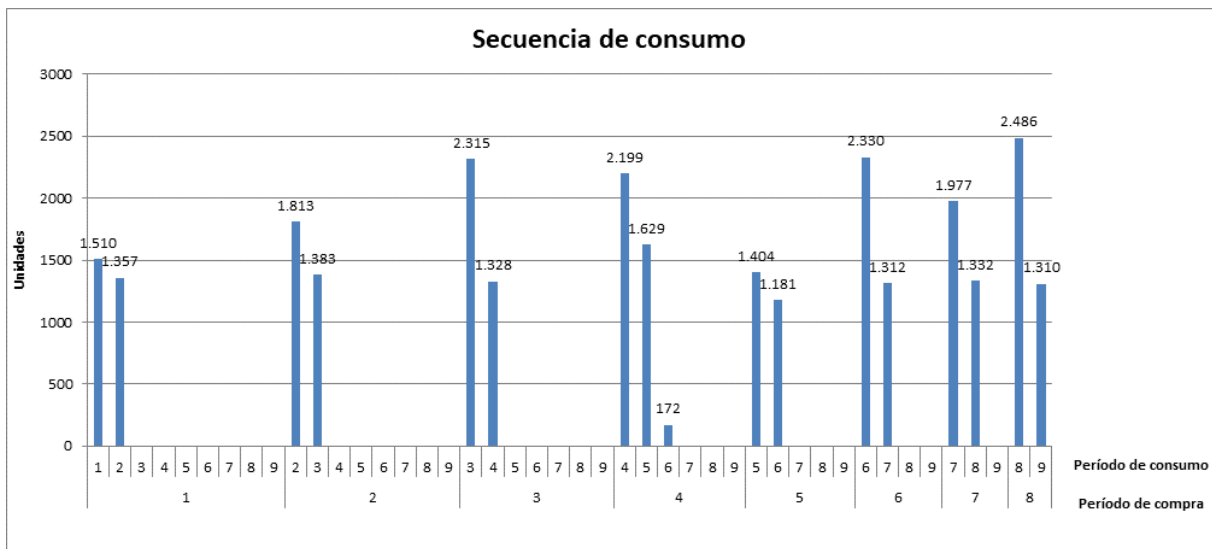


Figura 6.4: Secuencia de consumos

Finalmente se destaca que en el último período existe un quiebre en el inventario del Conector de Alta Presión Corto en 11 unidades, que puede cubrirse con el inventario de seguridad. Para este insumo esencial, la cantidad de redondeo establecida por el proveedor A, es de 25 unidades por lo que resultaría menos costoso quebrar en 11 unidades que mantener en el inventario las unidades que no se van a consumir.

6.1.2 Particularidades

En la siguiente sección se exponen ciertos aspectos del plan de compras que presentan características particulares como: tendencia constante en las adquisiciones, anticipo de las mismas y compras fuertemente influenciadas por la cantidad de redondeo y capacidad del proveedor.

Tendencia constante de adquisiciones

Se observa que para ciertos insumos, las adquisiciones manifiestan una tendencia a mantenerse constantes en cierto valor, como son los casos de:

- la Rampa “Manifold” de dos vías (insumo: 3-10-16-06),
- el Conector Alta Presión Corto (insumo: 3-8-12-207),
- la Guía Hidrofílica Larga (insumo: 3-8-13-3).

Al analizar los datos, se obtiene que dicho valor de compra corresponde a la capacidad máxima de los proveedores A, la cual es similar al promedio de demanda de los insumos en cuestión. Además, estos proveedores tienen la característica común de establecer cantidades de redondeo mayores a la unidad.

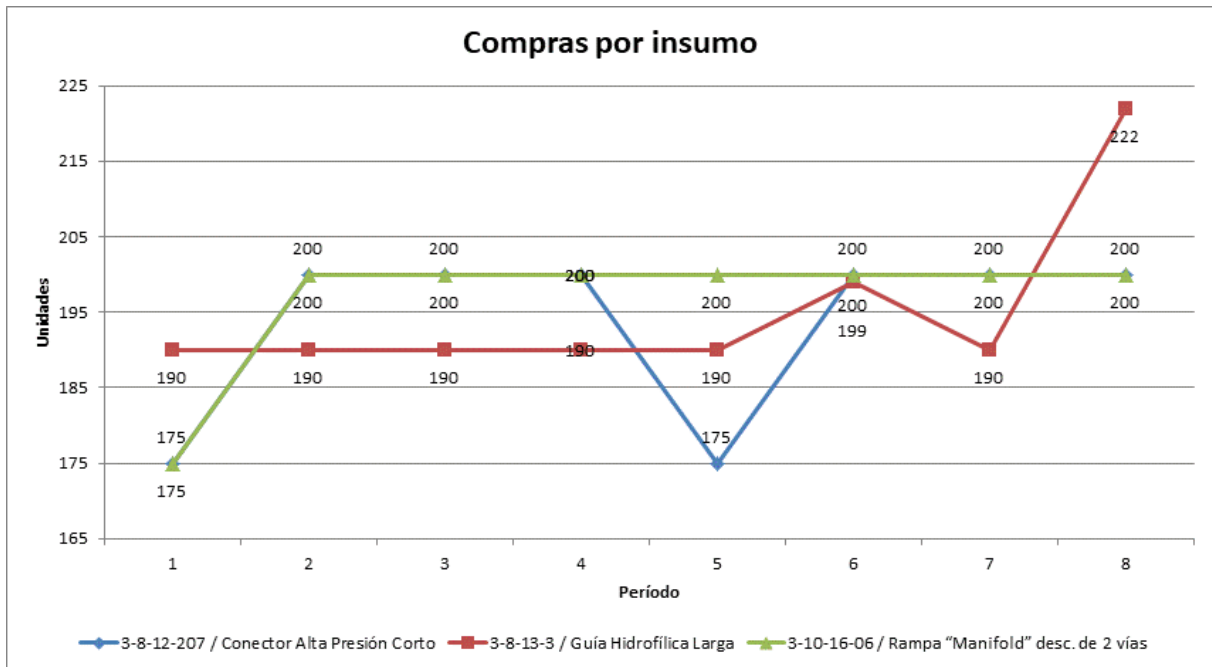


Figura 6.5: Compras por insumo

Ahora bien, como se puede observar en la [Figura 6.5](#), existen ciertos períodos en los cuales las compras son distintas a la de los demás. Se analiza que:

- El Conector de Alta Presión Corto quiebra por 11 unidades en el octavo período, situación que se podría revertir si las compras del quinto período también fueran de 200 unidades. Sin embargo, implica un mayor costo mantener en inventario y adquirir la cantidad de redondeo que quebrar. Esto se puede ver en la [Tabla 6.6](#) en la que se comparan ambas alternativas.

Tipo de costo	Sin quiebre	Con quiebre
Costo de compra (\$)	4.725	0
Costo de almacenamiento (\$)	2.223	0
Costo de quiebre (\$)	0	4.158
Costo total (\$)	6.948	4.158

Tabla 6.6: Análisis diferencial de costos Conector Alta Presión Corto

- El aumento de las compras de la Guía Hidrofílica Larga se explica por las adquisiciones al proveedor de mayor precio de forma de cumplir con el nivel de servicio.

Estos casos en los que la demanda es similar a la capacidad del proveedor y este es único, o existe una notoria diferencia de precio entre proveedores, podrían resultar en adquisiciones constantes en la capacidad del proveedor de menor precio. Esto sumado a la alta cantidad de redondeo podría implicar mantener un alto nivel de inventario, como se puede ver en el ejemplo del Conector Alta Presión Corto ([Figura 6.6](#)).

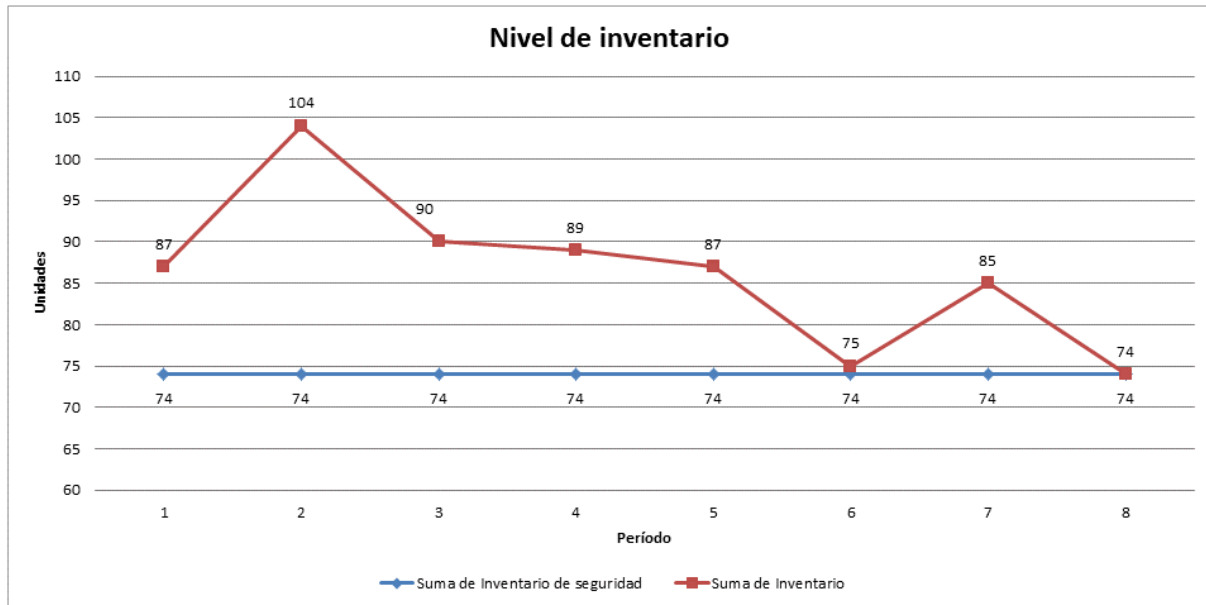


Figura 6.6: Nivel de inventario Conector Alta Presión Corto

Surgen entonces las siguientes preguntas: ¿qué pasaría en estos casos si se pudiera obtener una cantidad de redondeo menor? ¿y si la capacidad del proveedor más barato fuera mayor? Si la Guía Hidrofílica y la Rampa Manifold no fueran considerados insumos Vitales, ¿quebrarían?

Adquisiciones anticipadas en el primer año

Para algunos insumos el plan de compras presenta la particularidad de adquirir unidades adicionales en el último período del primer año para satisfacer la demanda del año siguiente. Esto se puede observar en los siguientes insumos (Figura 6.7):

- Conector Alta Presión Largo (Insumo: 3-10-11-28),
- Catéter Angiográfico Coronario (Insumo: 3-8-12-381),
- Balón de Angioplastia Coronaria (Insumo: 3-8-12-238).

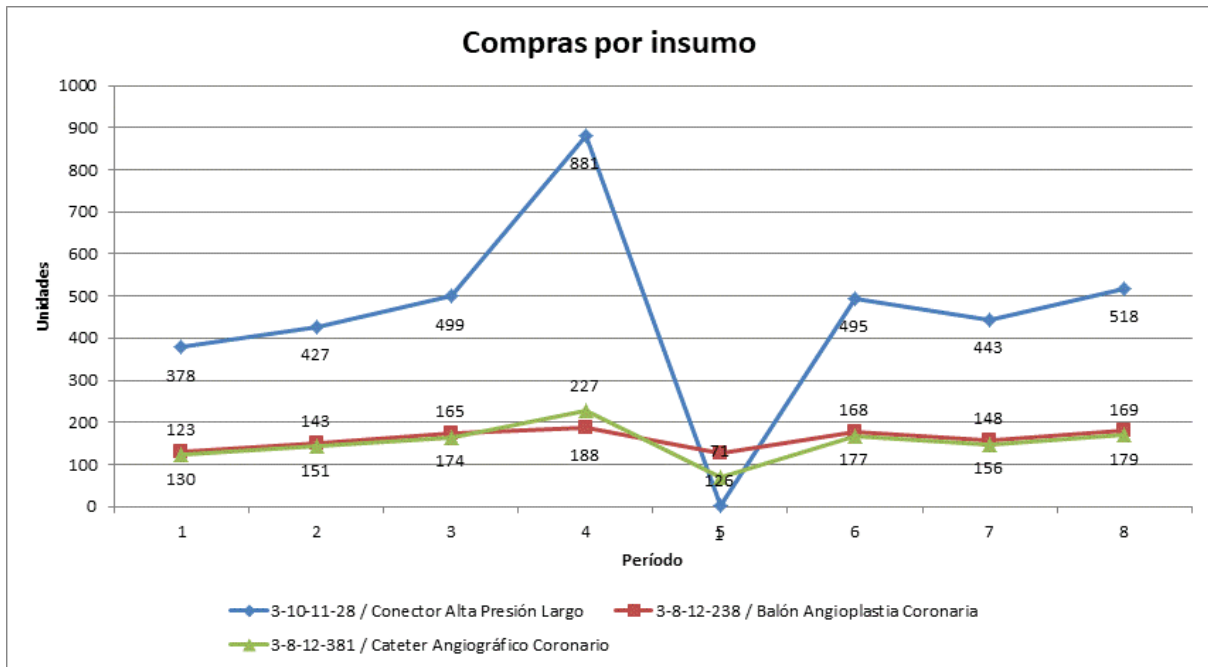


Figura 6.7: Compras por insumo

Es importante destacar que para el caso del Conector Alta Presión Largo, con la compra realizada en el cuarto período se satisface totalmente la demanda del período siguiente, en el cual se realiza una compra mínima para mantener el inventario de seguridad (Figura 6.8).

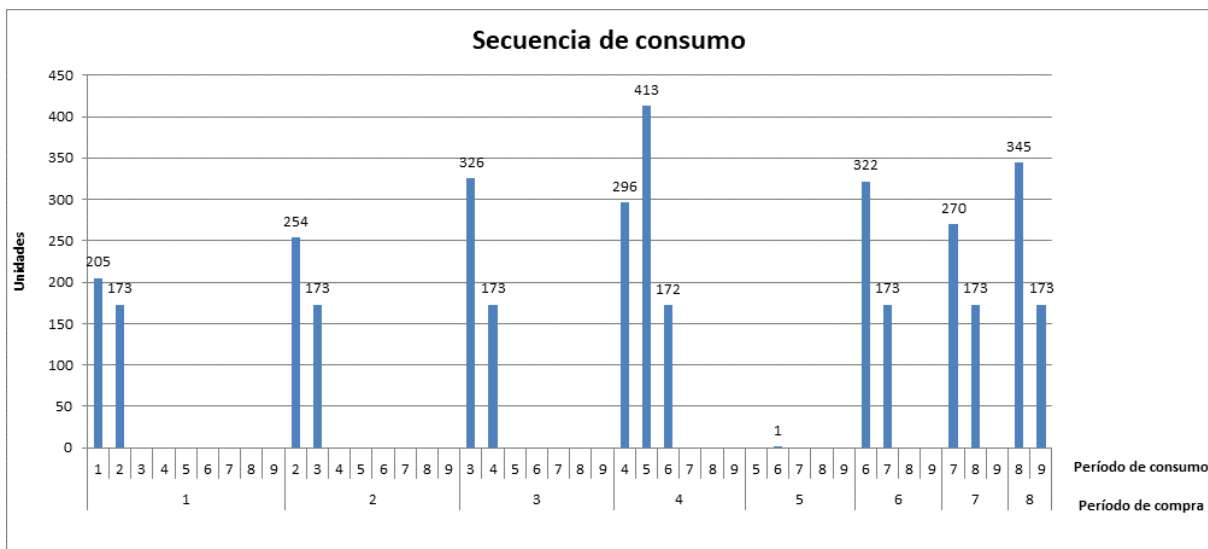


Figura 6.8: Consumos por período de compra Conector Alta Presión Largo

En la Figura 6.9, se observa que en el cuarto período las adquisiciones son aproximadamente el doble de los consumos.

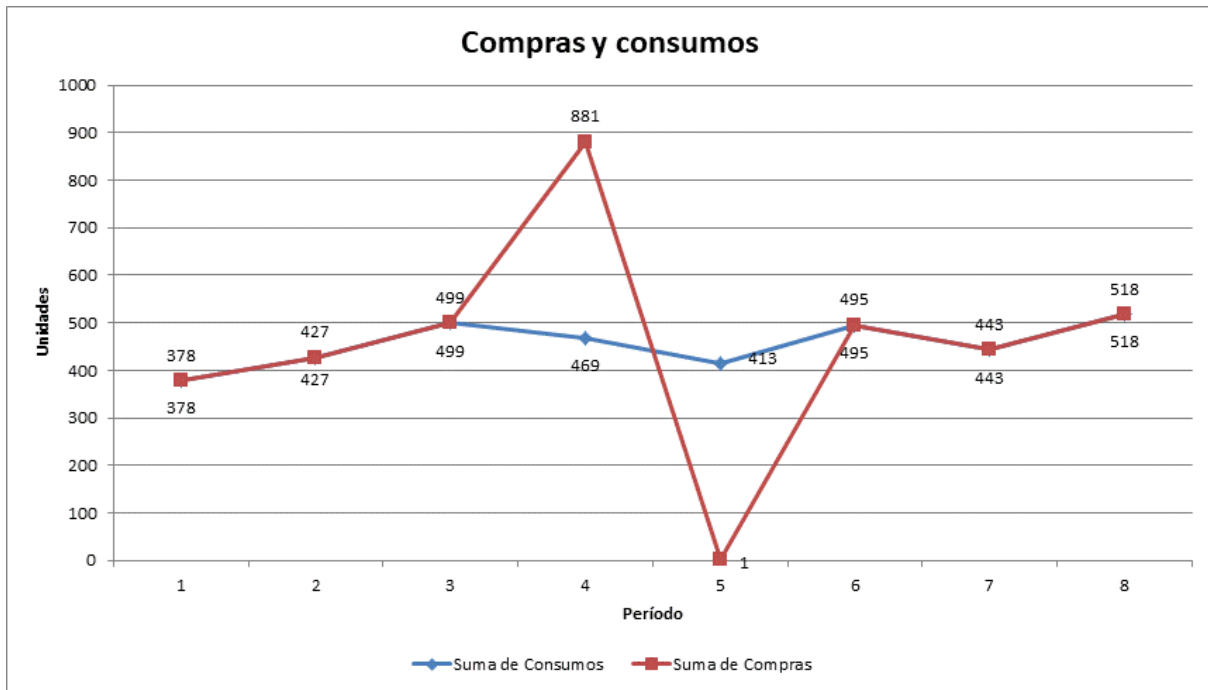


Figura 6.9: Compras y consumos Conector Alta Presión Largo

Como se visualiza en la [Figura 6.10](#), los efectos de las compras realizadas en el cuarto período se reflejan en el alto nivel de inventario.

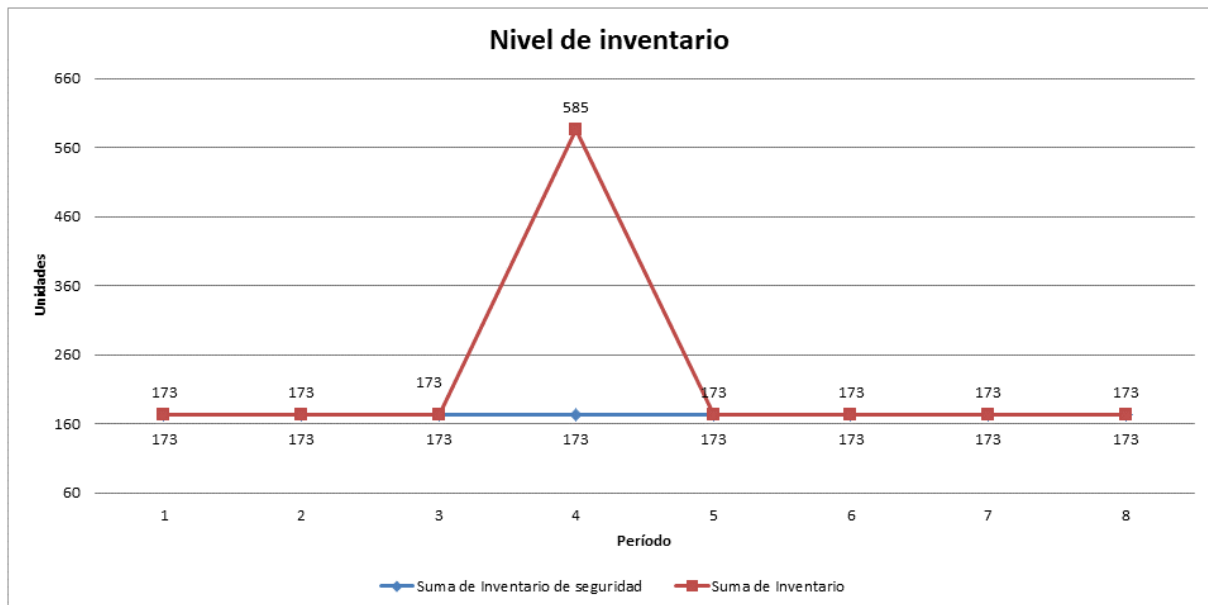


Figura 6.10: Nivel de inventario Conector Alta Presión Largo

En el Catéter Angiográfico Coronario se detecta un comportamiento similar, con la diferencia de que la demanda del quinto período se satisface parcialmente por las compras realizadas en el cuarto. A diferencia del caso anterior, este insumo puede ser suministrado por tres proveedores, y como se visualiza en el plan de compras en la [Tabla 6.7](#), en todos los casos se compra al Proveedor A, pero debido a su limitada capacidad, la cantidad restante debe ser suministrada por el Proveedor B.

Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Proveedor A	71	71	71	71	71	71	71	71
Proveedor B	52	72	94	156	0	97	77	98

Tabla 6.7: Plan de compras Catéter Angiográfico Coronario

El comportamiento descrito en estos casos, se podría vincular con la distribución del presupuesto, el cual resulta insuficiente para realizar las adquisiciones necesarias para satisfacer la demanda y mantener el inventario de seguridad del segundo año.

Así pues, si se contara con mayor presupuesto en el segundo año, ¿se realizarían compras anticipadas? ¿Cómo se debería modificar el presupuesto para evitar esta situación?

Efectos de cantidad de redondeo del proveedor

En estos casos la cantidad de redondeo provoca que las compras sean mayores que la demanda. Como se puede apreciar en la Llave Rotatoria Hemostática c/válvula Ípsilon.

Este insumo es Vital y puede ser suministrado solamente por un proveedor, cuya cantidad de redondeo es de cinco unidades. En la Figura 6.11 se puede observar que las compras no coinciden con la demanda, de forma de cumplir con el nivel de servicio y la cantidad de redondeo del proveedor. Esto también se refleja en el nivel de inventario (Figura 6.12), el cual se encuentra entre el inventario de seguridad y el inventario de seguridad más la cantidad de redondeo.

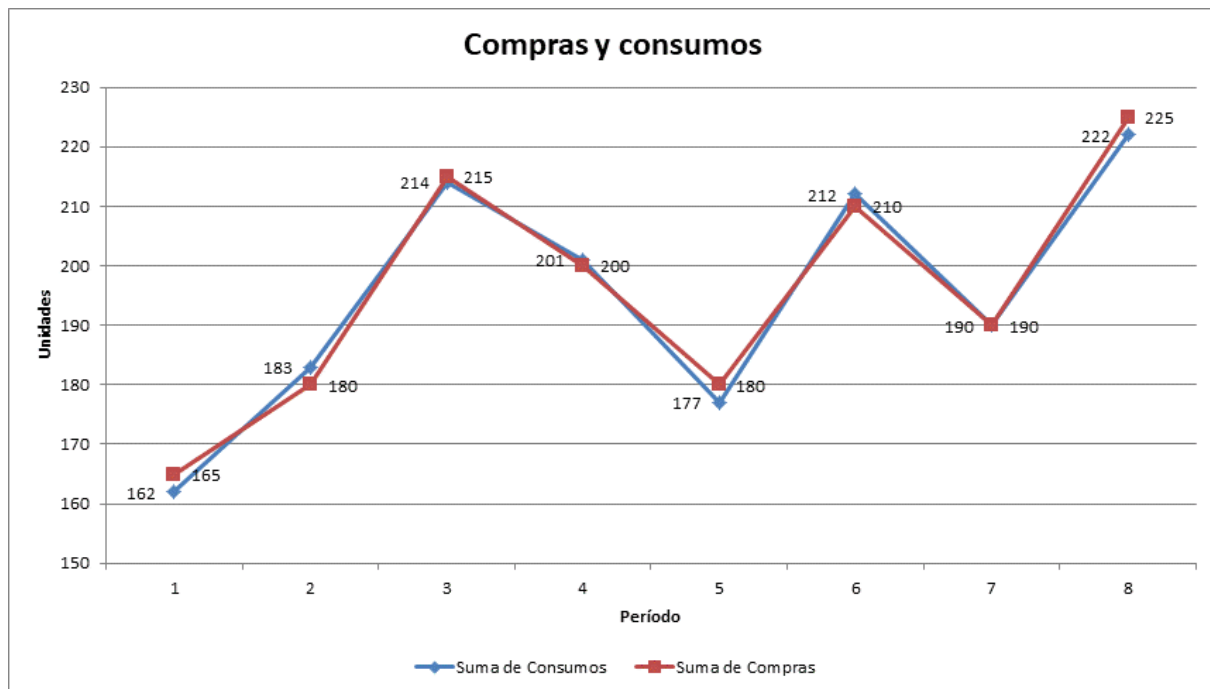


Figura 6.11: Compras y consumos Llave Rotatoria Hemostática c/válvula Ípsilon

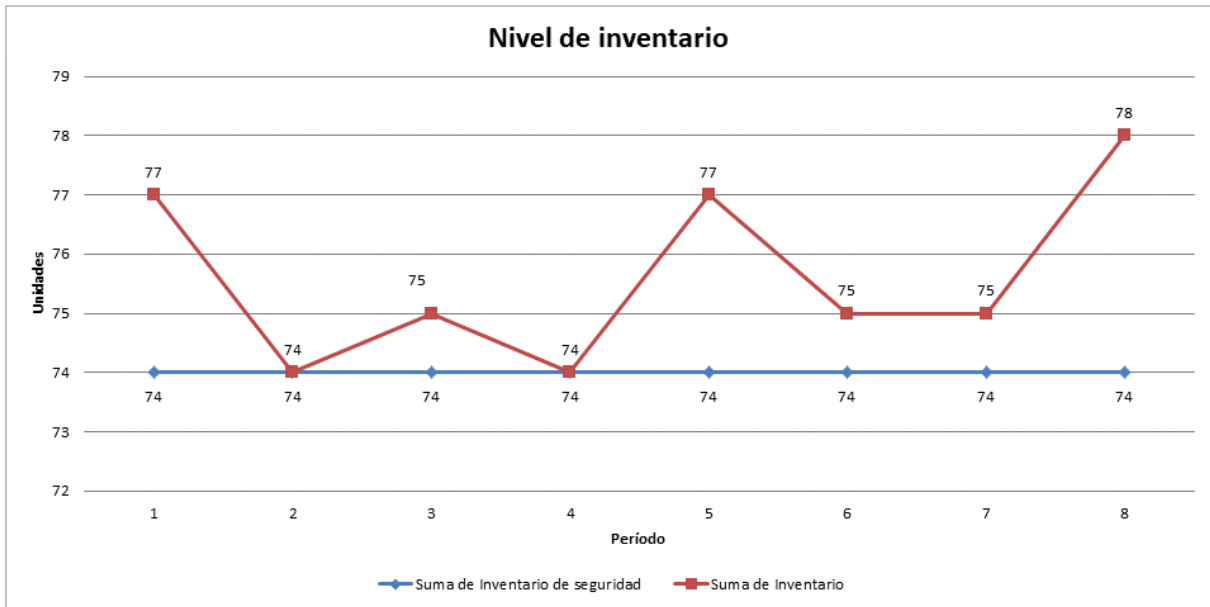


Figura 6.12: Nivel de inventario Llave Rotatoria Hemostática c/válvula Ípsilon

Adquisiciones determinadas por la capacidad del proveedor

En ciertos insumos la demanda es mayor que la capacidad del proveedor más económico, por lo que se deben realizar compras a los proveedores de mayor costo. Tal es el caso del Introdutor Radial (Insumo: 3-8-15-39).

Este insumo es clasificado como Vital y puede ser suministrado por dos proveedores. La capacidad del Proveedor A es de 148 unidades mientras que la del Proveedor B es de 1.332 unidades, con un precio 21,95% mayor. Esto provoca que en ciertos períodos las compras no coincidan con la demanda, como se puede apreciar en la [Figura 6.13](#).

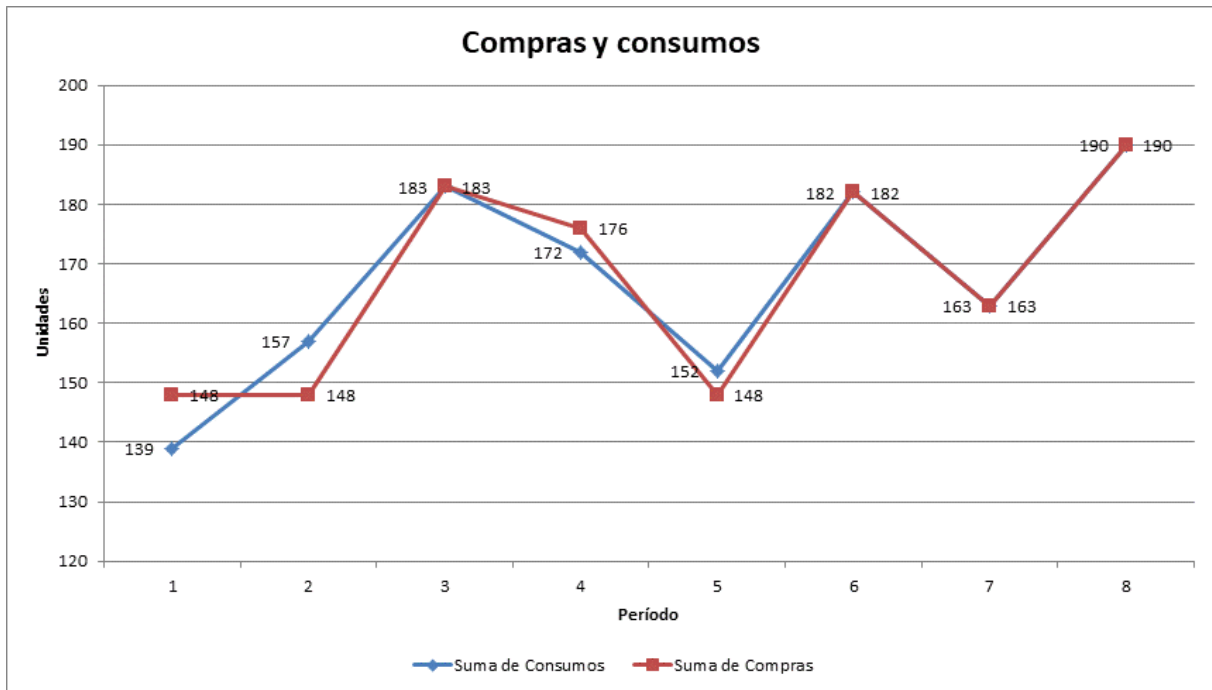


Figura 6.13: Compras y consumos Introdutor Radial

Del análisis de la demanda y el plan de compras (Tabla 6.8) se desprende que en todos los períodos se adquiere la capacidad máxima del Proveedor A, aunque la demanda sea menor. Esto se debe a que es más económico mantener el inventario “adicional”, que adquirir menos, pero luego tener que comprarle al Proveedor B. Lo anterior se visualiza en el nivel de inventario de los períodos uno y cuatro (Figura 6.14).

Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Proveedor A	148	148	148	148	148	148	148	148
Proveedor B	0	0	35	28	0	34	15	42
Total de compras	148	148	183	176	148	182	163	190
Demanda	139	157	183	172	152	182	163	190

Tabla 6.8: Plan de compras Introdutor Radial

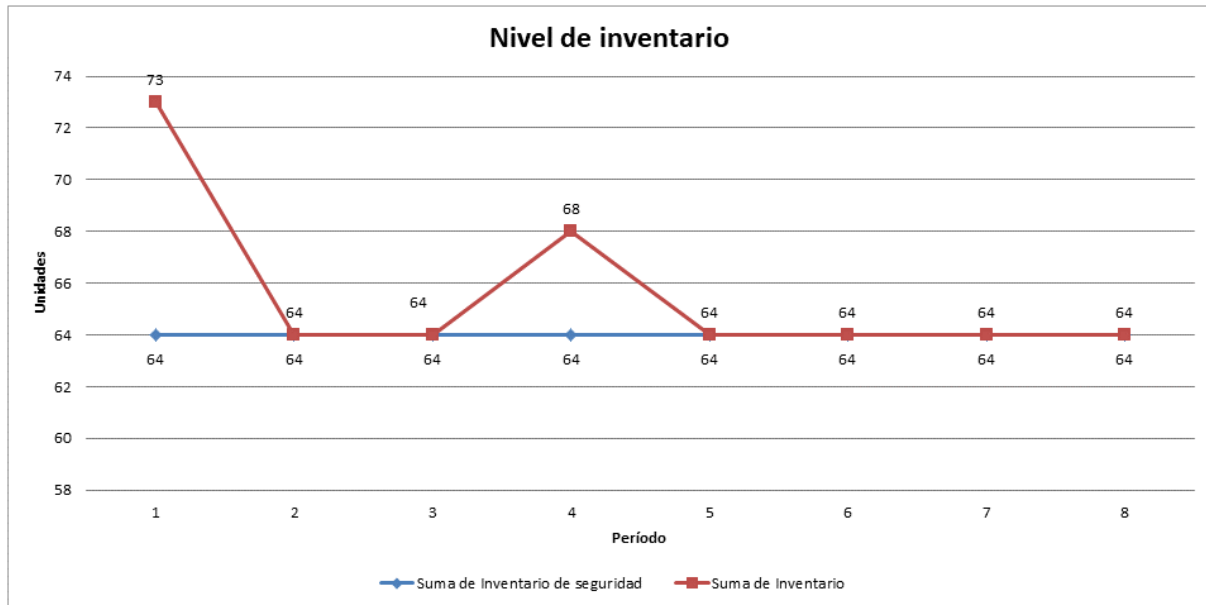


Figura 6.14: Nivel de inventario Introdutor Radial

Por consiguiente, si el Proveedor A pudiese aumentar su capacidad, ¿cuánto mejoraría la solución?, y si se pudiera negociar precio con el Proveedor B, ¿qué tanto se lo debería reducir para poder comprarle las unidades necesarias y optimizar costos?

6.1.3 Síntesis del análisis de la solución inicial

Del análisis realizado se concluye que con los datos relevados se obtiene una solución óptima, cuyo valor objetivo está constituido principalmente por el costo de adquisiciones. El aumento de la demanda del segundo año deriva en la utilización de la totalidad del presupuesto asignado y en adquisiciones adelantadas en el primero.

En cuanto al espacio utilizado para el almacenamiento, se podría afirmar que existe capacidad ociosa que podría ser utilizada para otros fines.

Por otra parte, la capacidad y cantidad de redondeo de los proveedores podrían ser determinantes en el plan de compras y cantidad de quiebres. Por lo que se recomienda evaluar la posibilidad de negociar estos valores para obtener mejores resultados.

Es importante destacar que la cantidad de quiebres no supera el inventario de seguridad, por lo que en ningún caso existiría desabastecimiento de insumos que impida la realización de las intervenciones.

6.2 Análisis de sensibilidad

La criticidad del problema en cuestión deriva en que para la toma de decisiones se deban analizar posibles situaciones y sus consecuencias. He aquí que a partir de las interrogantes surgidas en el Análisis de resultados, se realizan variaciones sobre distintos parámetros.

6.2.1 Variaciones de presupuesto

Visto que se utiliza todo el presupuesto en el segundo año, se considera de importancia entender qué impacto tendría un cambio en el monto y/o la forma de su administración.

En la [Tabla 6.9](#) se detallan los escenarios analizados con sus principales resultados.

Escenario	Presupuesto asignado (\$)	Presupuesto utilizado (\$)	Costo de quiebres (\$)	Valor objetivo (\$)
Presupuesto inicial	27.048.504	26.713.529	4.158	26.717.687
Presupuesto de ambos años 2,4% menor	26.400.000	26.399.812	582.503	26.982.315
Presupuesto de ambos años 5% mayor	28.400.930	26.705.064	4.158	26.709.222
Presupuesto de primer año 25% mayor y segundo año 25% menor	27.048.504	27.048.436	288.827	27.337.263

Tabla 6.9: Escenarios de variaciones de presupuesto

A partir de las soluciones obtenidas para estos escenarios se concluye que,

- Disminuyendo el presupuesto, el gasto asociado a compras y almacenamiento desciende, pero el valor objetivo aumenta. Esto se debe a que el costo de quiebre se incrementa considerablemente al no poder adquirir los insumos necesarios. Es importante destacar que al disminuir el presupuesto en un 5% o más, no se obtiene solución factible.
- El valor objetivo en caso de aumento del presupuesto resulta en un ahorro de \$8.465 respecto a la solución inicial. La mejora obtenida se podría asociar con la disminución del costo de almacenamiento, ya que se prescinde de las compras en el período cuatro para consumir en el siguiente año por restricciones en el presupuesto. Como se aprecia en la [Figura 6.15](#), esta mejora se refleja en el nivel de inventario, el cual alcanza un valor máximo 438 unidades menor que la solución inicial.



Figura 6.15: Nivel de inventario con aumento de presupuesto

- Aumentar el presupuesto más de un 5% no resulta en mejores soluciones, ya que se obtiene el mismo valor objetivo.
- Al incrementar el presupuesto del primer año y disminuir el del segundo, se observa un aumento en el costo de quiebre de \$284.669. Esto puede deberse al incremento de compras anticipadas en el primer año, lo que genera un aumento en 47% de los costos de almacenamiento y menor disponibilidad de presupuesto para la compra de insumos. En la Figura 6.16 se puede observar el aumento de las compras en el período cuatro para satisfacer parte de la demanda de los tres períodos siguientes.

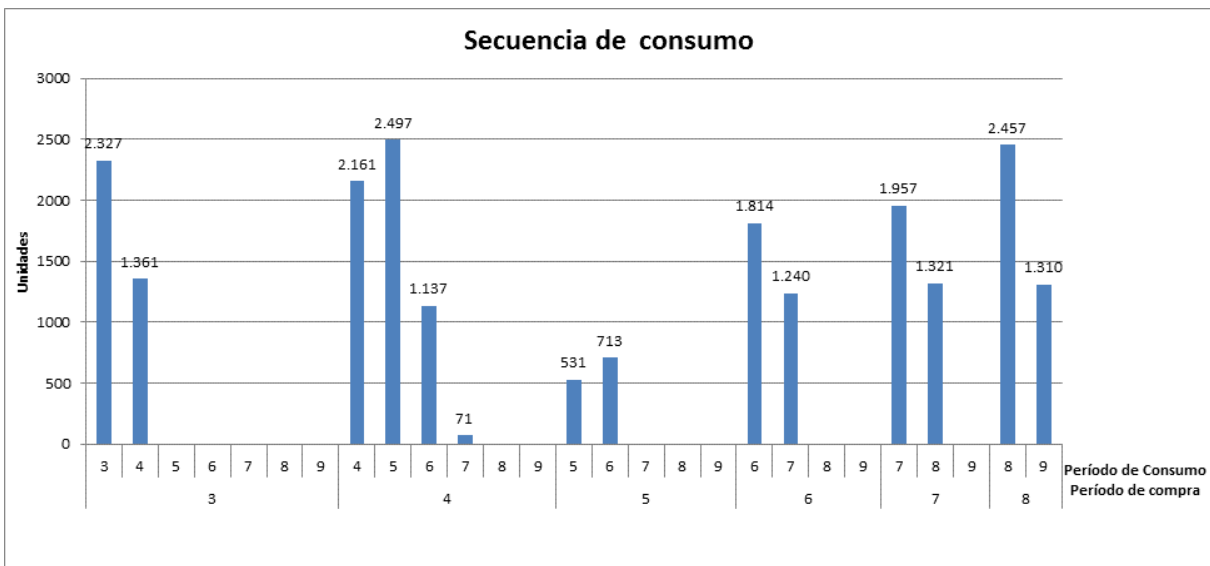


Figura 6.16: Consumos por período de compra con cambio de distribución de presupuesto

En conclusión, el menor costo se obtiene en los escenarios de mayor presupuesto. Se analiza que sería posible alcanzar el mismo valor óptimo, aumentando el presupuesto del

segundo año un 0,7%, y con una disminución de hasta 3,2% del presupuesto del primer año (Tabla 6.10).

Por lo tanto, con un menor presupuesto, pero distribuido de otra manera, se obtendrían mejores resultados.

	Presupuesto inicial (\$)	Presupuesto utilizado en el mejor caso (\$)	Relación presupuesto utilizado (%)
Año 1	13.524.252	13.086.758	96,8%
Año 2	13.524.252	13.618.306	100,7%

Tabla 6.10: Comparación de presupuesto utilizado

A continuación se presenta un último escenario, en el que se asignan presupuestos por semestre, tal como se visualiza en la Tabla 6.11. Dicha variación surge a partir de que en el caso de estudio, se incurre en mayores gastos durante los primeros trimestres con el objetivo de prevenir el impacto de posibles disminuciones de presupuesto del año en curso.

Semestre	Presupuesto (\$)	Presupuesto anual (%)	Presupuesto utilizado (\$)	Costo de quiebres (\$)
1	9.466.976	70%	9.466.944	177.262
2	4.057.276	30%	4.057.272	231.454
3	9.466.976	70%	9.466.975	212.387
4	4.057.276	30%	4.057.267	231.454
TOTAL	27.048.504	-	27.048.458	852.557

Tabla 6.11: Distribución de presupuesto por semestre

En este caso, el valor objetivo es de \$27.901.015, un 3,15% mayor al del caso inicial. Dicho aumento se debería al alto costo de quiebre y de almacenamiento. Este último vinculado con la necesidad de adelantar compras en los semestres con mayor presupuesto de forma de cumplir con el servicio deseado (Figura 6.17), lo cual tiene asociado un alto nivel de inventario en los períodos en cuestión (Figura 6.18).

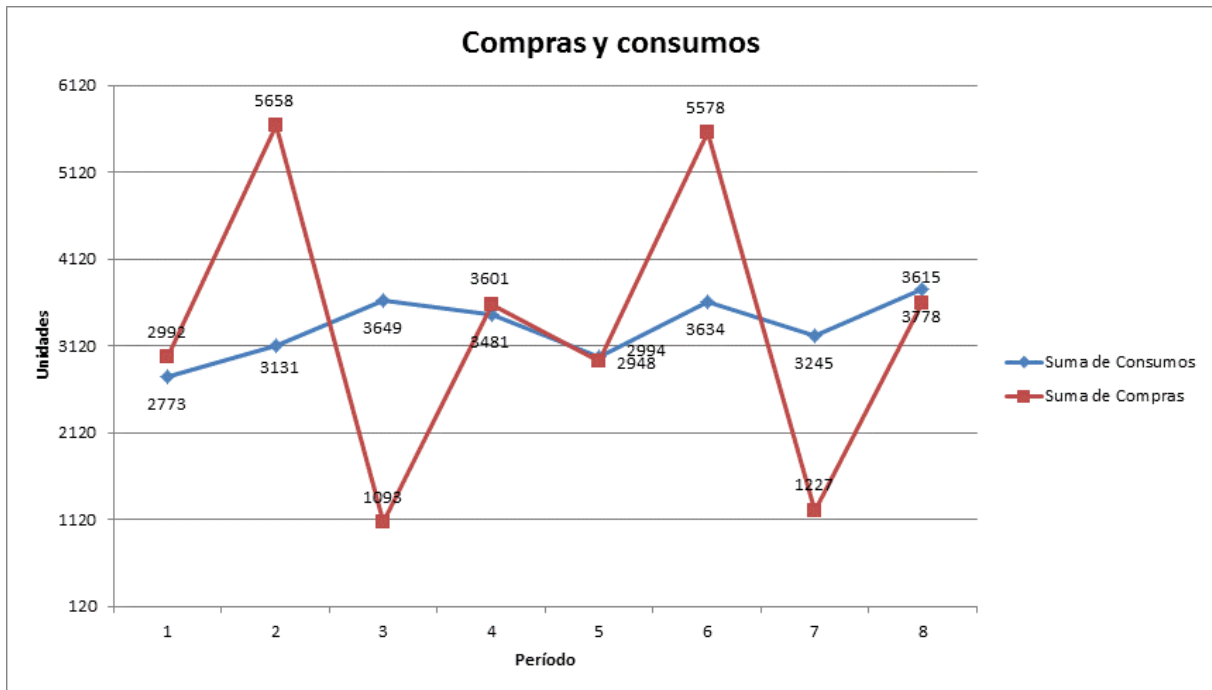


Figura 6.17: Compras y consumos con presupuesto por semestre



Figura 6.18: Nivel de inventario con presupuesto por semestre

6.2.2 Variaciones en la demanda

Del análisis histórico de la demanda de intervenciones, se observa su variabilidad e incremento desde el 2013 hasta el 2016. En base a esto, se plantea analizar el efecto de la variación de la demanda. Se busca determinar si es posible con el presupuesto asignado satisfacer una mayor demanda, y cómo afecta esta variación en el nivel de servicio, cantidad de quiebres y costos. En cuanto al inventario de seguridad, se pretende observar si cubre dichas variaciones.

En la [Tabla 6.12](#) se presentan los escenarios considerados, especificando el porcentaje de la demanda, presupuesto y capacidad del proveedor con respecto a los valores iniciales. Vale destacar que, para aumentar la demanda un 5% o más, sería necesario aumentar también el presupuesto y la capacidad de los proveedores, ya que los valores originales no amortiguarían dichas variaciones.

Escenario	Demanda (%)	Presupuesto (%)	Capacidad del proveedor (%)
Muy bajo	75%	-	-
Bajo	90%	-	-
Medio	75%, 125%*	-	-
Alto	125%	125%	125%

Tabla 6.12: Escenarios de variaciones de demanda

*Nota**: En el escenario Medio, disminuye la demanda del primer año al 75% y aumenta al 125% la del segundo.

A continuación se pueden observar los resultados económicos ([Tabla 6.13](#)), y las variaciones en la ocupación del espacio disponible para el almacenamiento de insumos ([Tabla 6.14](#)):

	Escenarios				
	Inicial	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto
Costo de almacenamiento (\$)	1.002.295	984.115	987.923	1.432.712	1.003.145
Costo de compras (\$)	25.711.234	19.359.135	23.111.324	25.615.710	32.185.211
Costo de quiebres (\$)	4.158	-	2.268	822.977	1.134
Función objetivo (\$)	26.717.687	20.343.250	24.101.515	27.871.399	33.189.490

Tabla 6.13: Resultados económicos con variaciones en demanda

Período	Ocupación (%)				
	Escenario Inicial	Escenario Muy bajo	Escenario Bajo	Escenario Medio	Escenario Alto
1	60%	49%	55%	50%	70%
2	65%	53%	61%	56%	77%
3	72%	59%	67%	64%	85%
4	75%	58%	65%	100%	83%
5	62%	52%	58%	81%	74%
6	72%	59%	67%	87%	86%
7	66%	55%	62%	80%	79%
8	74%	60%	68%	87%	88%
Promedio	68%	56%	63%	75%	80%

Tabla 6.14: Porcentaje de ocupación con variaciones en demanda

En base a los resultados obtenidos se puede concluir que,

- En el escenario Alto, en comparación con el Inicial, el valor objetivo aumentó a un 124%. Sin embargo, el aumento en los costos no es estrictamente lineal, dándose un incremento al 125% en el costo de compras, una disminución al 27% del costo de quiebres y un leve aumento (0,08%) del costo de almacenamiento. La disminución en los quiebres se debería a que al aumentar la demanda, resulta en menores costos adquirir la cantidad de redondeo y almacenar en inventario el sobrante que quebrar. La estabilidad en el costo de almacenamiento puede deberse a que no existieron cambios en el inventario de seguridad.
- En el escenario Medio, se da un aumento significativo en la cantidad de quiebres, igualmente menor al inventario de seguridad. Dichos quiebres son causados por el bajo presupuesto que es utilizado al 100%.
 - En el caso del Conector de Alta Presión Corto, en los primeros dos períodos se realiza una compra de 125 unidades, mientras que en el resto de los períodos se adquiere la capacidad del proveedor. Dicha capacidad no permite cubrir totalmente la demanda, y a pesar de que se podría satisfacer parte de ella con compras en los primeros períodos, al ser un insumo Esencial, es preferible quebrar que almacenar para consumir luego.
 - En el caso de la Guía Hidrofílica Corta, el quiebre se explicaría por el bajo presupuesto. En el cuarto período se da un máximo de compras de 336 unidades, mientras que en el quinto no se realizan pedidos.
- En los escenarios de disminución de la demanda (Bajo y Muy bajo), el valor óptimo se reduce un 10% y 24% respectivamente, aproximándose a las variaciones impuestas.

- Con respecto a la capacidad de almacenamiento utilizada, se observa que:
 - En el escenario Medio se utiliza la totalidad del espacio disponible en el cuarto período.
 - El escenario que alcanza un nivel promedio de ocupación mayor es el de aumento de demanda, pero a pesar de que esta incrementa un 25%, el porcentaje de ocupación es un 12% mayor, ya que el inventario de seguridad no varía.

Se destaca que en caso de planificar aumentos de demanda mayores a un 5%, se debería incrementar también el presupuesto asignado y negociar mayor capacidad de aprovisionamiento con los proveedores. Asimismo, si aumentara la demanda en el segundo año al menos un 25%, la necesidad de compras anticipadas conllevaría a la utilización de la totalidad del espacio disponible, por lo que se debería evaluar su aumento.

6.2.3 Variaciones en la cantidad de redondeo

Por lo mencionado en el análisis de resultados, la alta cantidad de redondeo de ciertos proveedores podría ocasionar un aumento de los costos e impactar en el plan de compras, es así que se busca analizar cómo varía la solución al modificar dicha cantidad.

Se estudiaron dos escenarios, el primero disminuyendo la cantidad de redondeo a una unidad para todos los proveedores, mientras que en el segundo, se aumenta la cantidad de redondeo a dos, manteniendo aquellos valores que son mayores. Como no se consideran costos fijos de compra, se espera que en el primer caso se reduzcan los costos de almacenamiento y de adquisiciones, y en el segundo suceda el comportamiento contrario.

Por otra parte, se elaboró un tercer escenario aumentando la cantidad de redondeo a diez unidades, el cual no presenta solución factible debido a la restricción de presupuesto. Por consiguiente, se podría decir que el aumento de la cantidad de redondeo debería ir acompañado de una negociación de precios de adquisición más convenientes con el proveedor.

En la [Tabla 6.15](#) se pueden observar los resultados obtenidos.

Tipo de costo	Escenarios		
	Inicial	Bajo	Medio
Costo de almacenamiento (\$)	1.002.295	1.004.568	1.019.785
Costo de compras (\$)	25.711.234	25.676.493	25.725.975
Costo de quiebres (\$)	4.158	-	14.903
Función objetivo (\$)	26.717.687	26.681.061	26.760.663

Tabla 6.15: Resultados económicos con variaciones en cantidad de redondeo

- Para el caso en el que todos los proveedores entreguen por unidad, el costo de almacenamiento es levemente mayor, de forma contraria a lo esperado. Sin embargo, el valor óptimo es 0,2% menor ya que la cantidad de quiebres es nula. Esto podría deberse a que el costo de quiebre es mayor al precio de adquisición. Por tanto, si la capacidad del proveedor es suficiente, es preferible adquirir que quebrar. Es entonces que si se lograra negociar la entrega por unidades, se abastecería la totalidad de la demanda con el presupuesto asignado, obteniendo una disminución en los costos totales.
- Si los proveedores entregaran como mínimo de a dos unidades, todos los costos aumentan, destacándose el costo de quiebre. Esto se debe a que es más conveniente quebrar en una unidad que adquirir y almacenar otra adicional.

6.2.4 Variaciones en el costo de almacenamiento

Teniendo en cuenta que el costo de almacenamiento fue estimado en base a recomendación de la Dirección Administrativa del caso de estudio, se realizan variaciones en dicho valor para analizar los efectos sobre los costos y el plan de compras resultante.

Se considera un primer escenario con costo de almacenamiento nulo, por lo que se esperan adelantos de compras al proveedor más económico. En el segundo escenario, dicho valor aumenta al 15% del precio del insumo del proveedor de menor costo.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos ([Tabla 6.16](#)):

Tipo de costo	Escenarios		
	Inicial	Bajo	Alto
Costo de almacenamiento (\$)	1.002.295	0	1.518.431
Costo de compras (\$)	25.711.234	25.708.714	25.530.025
Costo de quiebres (\$)	4.158	4.158	307.859
Valor objetivo (\$)	26.717.687	25.712.872	27.356.315

Tabla 6.16: Resultados económicos con variaciones en costo de almacenamiento

- En el escenario Bajo, como se observa en la [Figura 6.19](#), se destaca la asignación de las compras de un período al consumo de hasta cuatro períodos posteriores. Esto se podría vincular con la posibilidad de comprarle al proveedor de menor costo y mantener en inventario sin incrementar el costo total ([Tabla 6.17](#)).

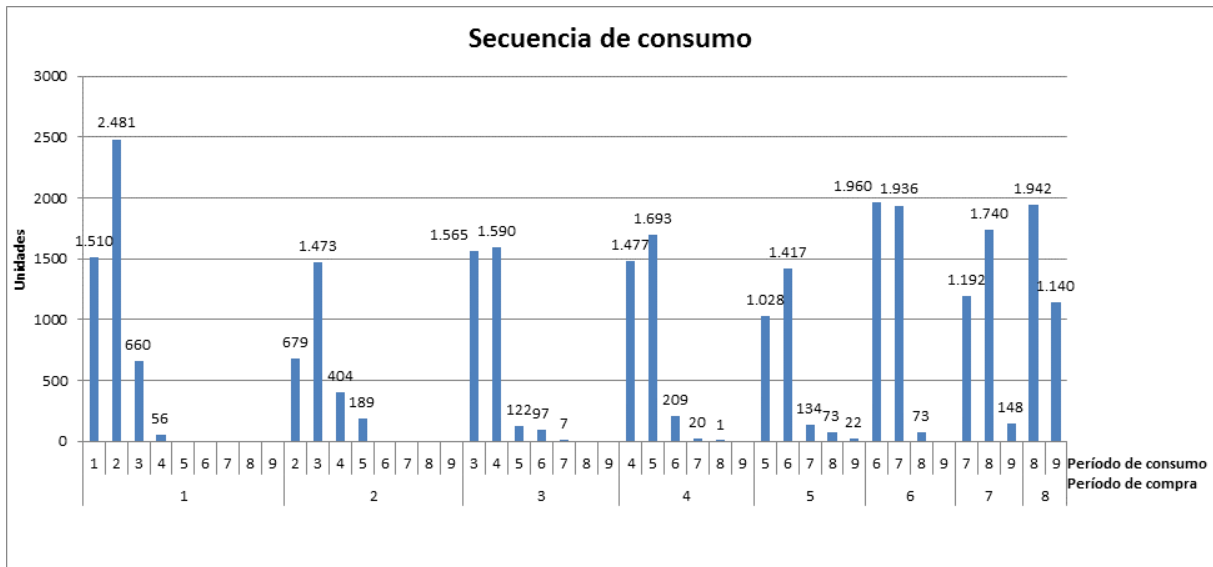


Figura 6.19: Consumos con costo de almacenamiento nulo

Tipo de costo	Escenarios		
	Inicial	Bajo	Alto
Costo de compras Proveedor A (\$)	21.122.339	21.188.579	20.998.278
Costo de compras Proveedor B (\$)	4.588.895	4.520.135	4.531.747

Tabla 6.17: Comparación de costo de compras con variaciones en costo de almacenamiento

Por otra parte, esta variación en el plan de compras se ve reflejada notoriamente en los niveles de inventario con una tendencia decreciente desde el primer período (Figura 6.20).

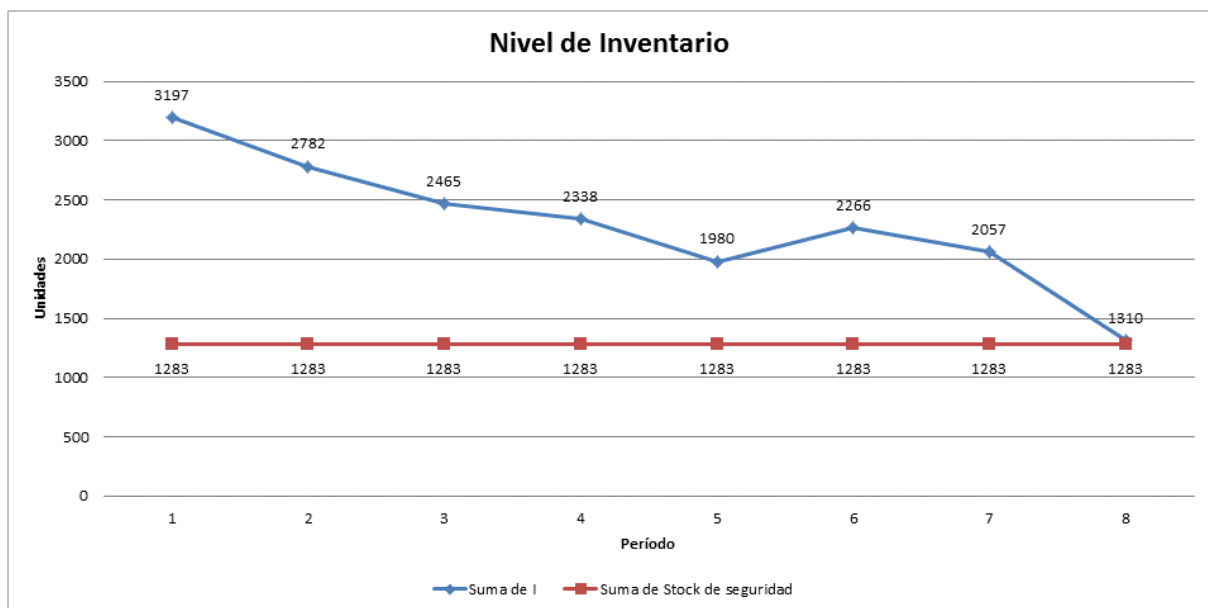


Figura 6.20: Nivel de inventario con costo de almacenamiento nulo

- En el escenario Alto, no se detectan grandes cambios en las tendencias de compra y niveles de inventario. Sin embargo, se observa un importante aumento en los quiebres, que estaría asociado al incremento en los costos de almacenamiento, que conlleva a que haya insumos que no se puedan adquirir con el presupuesto.
- Como se muestra en la [Tabla 6.16](#), en el escenario Bajo disminuye el valor objetivo en un 3,76%, mientras que en el Alto aumenta en un 1,24% con respecto al inicial. Así pues, para disminuir el impacto en el valor óptimo del aumento del costo de almacenamiento sería necesario un incremento del presupuesto. Mientras que, en caso de que el costo de almacenamiento pueda ser considerado nulo, aumentaría la disponibilidad de presupuesto, posibilitando el adelanto de adquisiciones al proveedor de menor costo.

6.2.5 Variaciones en el nivel de servicio

Dada la importancia del cumplimiento de la demanda de insumos médicos y los altos niveles de servicio implicados, surge la interrogante de cuáles serían las variaciones en los costos al modificar dichos niveles.

Se realizan dos escenarios contrapuestos: por un lado, un escenario Bajo, en el que se disminuye el nivel de servicio en un 10% a todos los insumos; mientras que por otro lado, se aumenta al 100%, como si todos fueran vitales, para lograr el escenario Alto.

No se esperaban grandes variaciones en ninguno de los escenarios, ya que el costo de quiebre es alto y existen pocos insumos no Vitales.

Como se aprecia en la [Tabla 6.18](#), los resultados obtenidos coinciden con los esperados, notándose una disminución del valor objetivo en \$3.577 en el escenario Bajo y un aumento de \$2.862 en el Alto.

Tipo de costo	Escenarios		
	Inicial	Bajo	Alto
Costo de almacenamiento (\$)	1.002.295	998.961	1.004.590
Costo de compras (\$)	25.711.234	25.702.189	25.715.959
Costo de quiebres (\$)	4.158	12.960	-
Valor objetivo (\$)	26.717.687	26.714.110	26.720.549

Tabla 6.18: Resultados económicos con variaciones en el nivel de servicio

Por consiguiente, variaciones en el nivel de servicio deseado no inciden significativamente en el valor óptimo.

Los quiebres en el escenario Bajo pueden deberse a la alta cantidad de redondeo, que genera que sea más eficiente quebrar, al igual que lo explicando anteriormente para el caso

inicial (Tabla 6.19). De todas formas las cantidades de quiebres no superan los valores de inventario de seguridad.

Insumo	Cantidad quiebres (unidades)	Costo de quiebre (\$)	Cantidad redondeo (unidades)
Rampa "Manifold" desc, de 2 vías	11	648	25
Llave Rotatoria Hemostática c/Válvula Ípsilon	1	1161	5
Conector Alta Presión Corto	11	378	25
Torque para Guía de Angioplastia	1	513	10

Tabla 6.19: Quiebres con bajo nivel de servicio

6.2.6 Variaciones en el costo de quiebre

Con el objetivo de analizar cómo varía la cantidad de quiebres al modificar su costo, se presentan dos escenarios. Por un lado, uno Bajo, en el que el costo de quiebre se define un 20% mayor al precio del Proveedor A para todos los insumos; mientras que en el escenario Alto se considera que el costo de quiebre es tres veces mayor que el precio del Proveedor A.

En la Tabla 6.20 se pueden comparar los resultados principales para los dos escenarios presentados.

Tipo de costo	Escenarios		
	Inicial	Bajo	Alto
Costo de almacenamiento (\$)	1.002.295	1.000.919	1.002.295
Costo de compras (\$)	25.711.234	25.706.509	25.711.234
Costo de quiebres (\$)	4.158	8.172	6.237
Valor objetivo (\$)	26.717.687	26.715.600	26.719.766

Tabla 6.20: Resultados económicos con variaciones en la cantidad de redondeo

Es relevante destacar que:

- En el escenario Alto, a pesar del aumento del costo asociado, la cantidad de quiebres se mantiene, ya que continúa siendo conveniente quebrar que adquirir la cantidad de redondeo del proveedor. De aquí que el costo de adquisiciones se mantiene igual al inicial, pero el valor objetivo aumenta.
- En el escenario Bajo, se observa un aumento en la cantidad de quiebres del Conector de Alta Presión Corto en 25 unidades, coincidiendo con la cantidad de

redondeo. Resulta entonces más eficiente quebrar en 25 unidades que mantenerlas en inventario. En la **Figura 6.21** se puede observar la diferencia entre el nivel de inventario inicial y el del escenario descrito.

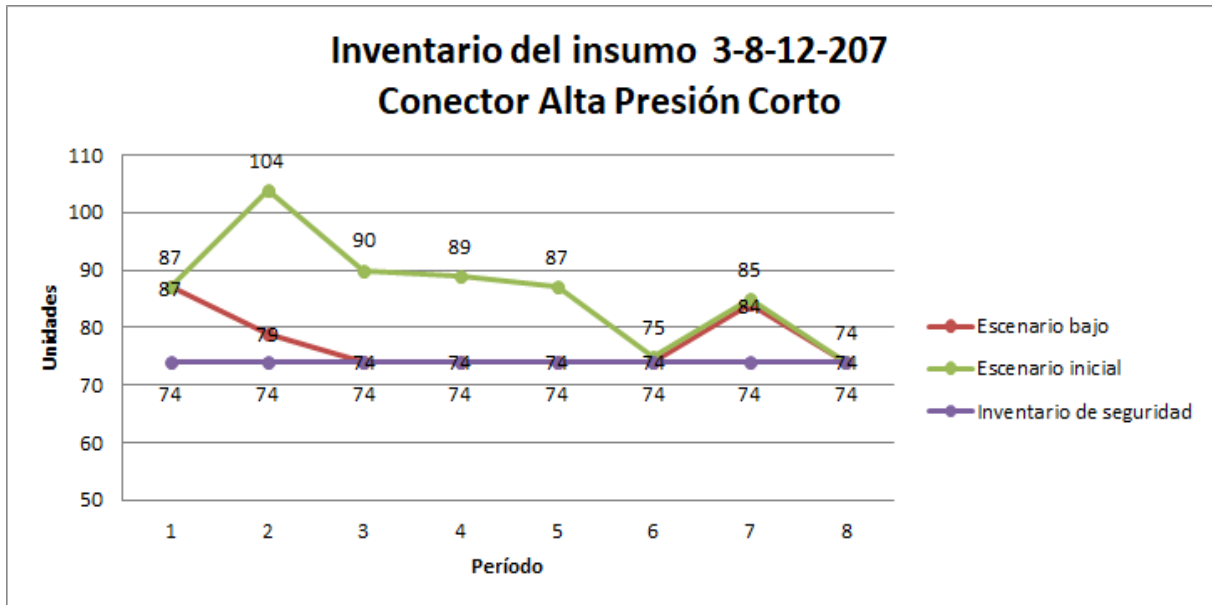


Figura 6.21: Nivel de inventario Conector Alta Presión Corto con bajo costo de quiebre

6.2.7 Variaciones en el inventario de seguridad

Considerando que el inventario de seguridad fue estimado sin estar formalmente establecido en el caso de estudio, se busca analizar las variaciones si dicho valor se modificara.

Para esto se consideran dos tipos de escenario de acuerdo a la variación impuesta, alcanzando los siguientes resultados (**Tabla 6.21**):

Escenario	Tipo	Inventario seguridad (%)	Valor objetivo (\$)	Costo Almacenamiento (\$)	Costo almacenamiento	Valor objetivo (%)
Inicial			26.717.687	1.002.295	-	
Bajo	Muy bajo	50%	26.228.022	512.630	51%	98,2%
	Bajo	80%	26.520.478	805.086	80%	99,3%
Alto	Levemente bajo	90%	26.620.978	905.586	90%	99,6%
	Muy alto	120%	26.915.409	1.200.017	120%	100,7%
	Alto	110%	26.815.893	1.100.501	110%	100,4%

Tabla 6.21: Resultados económicos con variaciones en el inventario de seguridad

Del análisis general de los escenarios se observa que:

- Las variaciones en el inventario de seguridad modifican los costos de almacenamiento, sin alterar los costos de adquisiciones ni de quiebre. De lo que se desprende la leve variación en el valor objetivo frente a estos cambios.

- El costo de almacenamiento varía linealmente con el inventario de seguridad, lo que concuerda con que en la mayoría de los casos el nivel de inventario se acerca al de seguridad.
- En todos los escenarios se da la misma cantidad de quiebres que en el caso inicial.
- En los escenarios Muy Bajo y Bajo, se prescinden de las compras anticipadas del período cuatro, ya que el presupuesto en el segundo año es suficiente para realizar las adquisiciones necesarias. En estos casos el nivel de inventario alcanza su valor máximo en el quinto período, a diferencia de los otros, en los que se da en el cuarto.
- Debido a que el porcentaje de ocupación del inventario de seguridad es en promedio el 27% de la ocupación total, con las variaciones impuestas el espacio utilizado no se modifica notoriamente, manteniéndose dicho valor entre 58% y 70%.

6.2.8 Síntesis del análisis de sensibilidad

A modo de resumen, se podría afirmar que utilizando el mismo presupuesto distribuido de otra manera, se alcanzaría un plan de compras que resultaría en un ahorro en los costos totales.

Ahora bien, dicho presupuesto no es suficiente para cumplir con posibles aumentos de demanda. Al analizar los datos históricos de cantidad de intervenciones, se observa una tendencia creciente de la misma, por lo que se recomienda planificar un aumento del presupuesto que contemple este incremento.

En ciertos casos en los que la cantidad de redondeo es mayor a la unidad, podría resultar más conveniente quebrar que adquirir y almacenar en inventario. En base al análisis de sensibilidad realizado en este punto, si los proveedores entregaran en unidades no habría quiebres de inventario, mejorando el valor objetivo. He aquí que surge la recomendación de una negociación de esta cantidad con el proveedor.

Si los proveedores más económicos aumentaran su capacidad, podrían mejorar los costos.

Debido a que la mayoría de los insumos son Vitales, y por lo tanto su costo de quiebre es elevado, el efecto de la variación del nivel de servicio en el valor objetivo es mínimo, por lo que sería preferible comprar antes que quebrar.

Vale destacar que en ningún caso la cantidad de quiebres fue mayor al inventario de seguridad, por lo que frente a las variaciones analizadas, no se dejarían de realizar procedimientos por falta de insumos.

6.3 Análisis complementarios

En las secciones 6.1 y 6.2 se presentó la solución obtenida considerando la demanda histórica y un inventario de seguridad correspondiente al mayor valor de demanda mensual.

Ahora bien, se considera útil encontrar una distribución de probabilidad que represente más adecuadamente al arribo de pacientes. De esta manera, se podrían obtener distintos valores de demanda y calcular las posibles variaciones con los datos utilizados, encontrando un nivel de inventario de seguridad que las contemple.

6.3.1 Tratamiento estadístico de la demanda

Para definir cómo modelar la demanda, se parte de la revisión bibliográfica realizada, en la que en reiterados casos se la considera una variable aleatoria modelada como una Distribución de Poisson.

Supuesto esto, a partir de los datos históricos de intervenciones de Cateterismo y Angioplastia de cuatro años, se realiza un Test de Bondad de ajuste Chi Cuadrado de forma de validar la hipótesis realizada (ver [Tabla 6.22](#) y [Tabla 6.23](#)).

Angioplastia				
Intervalo	Cantidad de intervenciones	Frecuencia observada	Probabilidad	Frecuencia esperada
1	17 a 22	4	0,13	6,2
2	23 a 28	12	0,21	10,0
3	29 a 34	13	0,22	10,7
4	35 a 40	8	0,18	8,6
5	41 a 50	11	0,11	5,5

Tabla 6.22: Frecuencia de intervenciones de Angioplastia

Cateterismo				
Intervalo	Cantidad de intervenciones	Frecuencia observada	Probabilidad	Frecuencia esperada
1	19 a 23	12	0,22	10,60
2	24 a 28	16	0,26	12,59
3	29 a 33	10	0,21	9,97
4	34 a 43	10	0,12	5,92

Tabla 6.23: Frecuencia de intervenciones de Cateterismo

Dado que el valor de Chi Cuadrado es de 7,3 para la Angioplastia y 3,9 para el Cateterismo, y que los grados de libertad son 3 y 2 respectivamente; se concluye que en ambas intervenciones no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis de que siguen una Distribución de Poisson, con un nivel de significancia del 5%.

En síntesis, la demanda de las intervenciones se puede modelar como una función de Distribución de Poisson con parámetro λ , que representa la demanda promedio de cada intervención.

6.3.2 Tratamiento estadístico del Inventario de Seguridad

Partiendo del concepto de mantener un nivel de seguridad que respalde el alto nivel de servicio, se hallan los valores de demanda d de Angioplastia y Cateterismo, tales que:

$$\text{Probabilidad}\{Demanda \leq d\} = 0,996$$

Se calcula la diferencia entre d y el mes de menor demanda para cálculo del inventario de seguridad. Los valores obtenidos resultan en promedio un 16% mayor a los valores considerados inicialmente.

Considerando esta modificación en los parámetros de inventario de seguridad, la solución variaría de forma similar a la analizada en el escenario de aumento de inventario de seguridad descrito anteriormente en la *Sección 6.2.7*.

6.3.3 Análisis de robustez del Plan de Compras

A partir del plan de compras sugerido, se busca analizar si es posible satisfacer valores de demanda obtenidos mediante la Distribución de Poisson, verificando que el inventario de seguridad sea suficiente para amortiguar dichas variaciones.

Los valores de demanda se obtienen a partir de la Distribución de Poisson de los arribos de pacientes, generando cinco escenarios de estudio (*Tabla 6.24*).

Escenario	Período								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Inicial	162	183	214	201	177	212	190	222	1561
Escenario 1	181	204	195	189	214	176	179	152	1490
Escenario 2	194	209	190	201	191	161	192	190	1528
Escenario 3	178	180	203	182	201	221	175	209	1549
Escenario 4	203	206	216	177	202	196	173	190	1563
Escenario 5	217	191	199	203	194	196	179	193	1572

Tabla 6.24: Arribos de pacientes obtenidos con Distribución de Poisson

En la [Tabla 6.25](#) se pueden observar las variaciones en los arribos de pacientes en relación a los datos iniciales.

Escenario	Período								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Escenario 1	112%	111%	91%	94%	121%	83%	94%	68%	95%
Escenario 2	120%	114%	89%	100%	108%	76%	101%	86%	98%
Escenario 3	110%	98%	95%	91%	114%	104%	92%	94%	99%
Escenario 4	125%	113%	101%	88%	114%	92%	91%	86%	100%
Escenario 5	134%	104%	93%	101%	110%	92%	94%	87%	101%

Tabla 6.25: Variaciones de arribos de pacientes con respecto al inicial

Se realizan dos tipos de análisis. El primero considera solamente las compras obtenidas en la solución, sin reposiciones de inventario de seguridad. El segundo supone que si se utiliza el inventario de seguridad para satisfacer parte de la demanda, este se repone mediante adquisiciones adicionales en el siguiente período.

Análisis del Plan de compras sin reposición de inventario de seguridad

Se destaca que únicamente en el cuarto escenario el inventario no fue suficiente para cumplir con la demanda en ciertos períodos, existiendo faltantes en 146 unidades. Nótese en la [Tabla 6.25](#) que dicho escenario es el único en el que se presenta una demanda mayor a la inicial durante tres períodos consecutivos.

Así pues, si no se pudieran modificar las compras en el horizonte de dos años, se debería revisar el inventario de seguridad a utilizar, ya que las variaciones podrían ser tales que no se cumpla con el nivel de servicio. Vale destacar que el inventario de seguridad utilizado en el modelo considera su reposición instantánea.

Análisis del Plan de compras con reposición de inventario de seguridad

Se presentan en la [Tabla 6.26](#) los resultados obtenidos, considerando los siguientes conceptos:

- La cantidad de faltantes son los casos en los que el inventario no es suficiente para abastecer la demanda.
- Las compras adicionales son las necesarias para reponer el inventario de seguridad cuando se consume.
- Los porcentajes están calculados en base a las compras totales del plan inicial.

Escenario	Cantidad de Faltantes	Compras adicionales (unidades)	Compras adicionales (%)	Inventario final (unidades)
Escenario 1	0	742	2,7%	3.203
Escenario 2	0	791	2,9%	2.855
Escenario 3	0	223	0,8%	1.894
Escenario 4	0	1284	4,7%	2.455
Escenario 5	0	1120	4,1%	2.254
Promedio de variaciones	0	832	3,1%	2.532

Tabla 6.26: Resultados del Análisis del Plan de compras con reposición de inventario de seguridad

De los resultados obtenidos se desprende que no existen faltantes en ningún caso, por lo que no se deja de asistir al paciente por falta de inventario. Esto implica una reposición del inventario de seguridad mediante compras adicionales, que en promedio es de 3,1%, siendo en todos los casos menor al 5% de las compras totales.

Por otro lado, en ciertos casos la demanda es menor a la pronosticada, generándose sobrantes que podrían sustituir futuras compras.

Por consiguiente, considerando finalizar con el mismo inventario que el de la solución inicial, las compras adicionales y la sustitución de adquisiciones por sobrantes, el total de unidades adquiridas resulta en promedio un 1,4% menor que el del plan de compras inicial.

Síntesis del Análisis de robustez

Según el análisis realizado en esta sección, considerando un inventario de seguridad por período que debe reponerse en caso de consumirse en parte o en la totalidad, la sugerencia de compras a largo plazo es robusta. Si bien en el 45% de los períodos la demanda supera la utilizada en el escenario inicial, en todos los casos el aumento es menor o igual al inventario de seguridad, lo cual muestra la robustez del valor asignado.

7 Aplicación en la realidad

7.1 Herramienta para la toma de decisiones

Finalizado el modelo matemático con su solución y análisis, se presenta el problema de cómo aplicar esta simplificación a una realidad tan compleja y sensible como la del ámbito de la salud.

Surge entonces la motivación de desarrollar una herramienta que brinde tanto lineamientos para la toma de decisiones de largo plazo, como para las compras periódicas de Insumos Médicos Especializados. Dicha herramienta se compone de:

- **Modelo Matemático:** los diferentes aspectos incluidos en el diseño del modelo matemático se consideran de importancia para el entendimiento de la realidad y la definición de procesos internos. Por ejemplo, respetar el orden de consumo FEFO, controlar periódicamente el inventario físico, no aceptar mercadería cuyo consumo sea posterior al vencimiento.
- **Datos confiables:** para obtener una solución que refleje la realidad se deben ingresar datos verídicos y actualizados. A saber,
 - Información de proveedores por insumo.
 - Información de insumos.
 - **Demanda estimada:** es relevante realizar un estimado de la demanda de cada insumo. Para esto se propone:
 - **Pronosticar las intervenciones:** del análisis estadístico de las intervenciones se desprende una posible distribución de probabilidad para las mismas, la cual puede ser utilizada como un punto de partida para los pronósticos de demanda.
 - **Insumos a utilizar en cada intervención:** a partir de los datos obtenidos por “Juicio de Expertos”, se establecen los insumos necesarios para las intervenciones consideradas.

De los dos puntos anteriores es posible estimar la demanda de cada insumo ([Anexo III: Módulo para la estimación de la demanda por insumo](#)).

Como forma de facilitar el ingreso de datos, se realiza el *Módulo para el ingreso de datos* ([Anexo V: Módulo para el ingreso de datos](#)), una interfaz amigable en la que es posible cargar los datos y transformarlos al lenguaje apropiado.

De allí se desprenden los datos que se utilizarán en el modelo matemático para obtener el plan de compras.

- **Software de resolución:** para obtener la solución óptima es necesario un programa acorde para resolver problemas matemáticos de esta magnitud. Por ejemplo, CPLEX.

- Guía para el análisis de resultados: con el objetivo de facilitar el análisis de la resolución del modelo, se realiza un *Módulo para el análisis de resultados* (Anexo VI: *Módulo para el análisis de resultados*). Del mismo se desprende: proyección de costos e inventario, plan de compras sugerido, secuencia de consumo, cantidad de quiebres y capacidad de almacenamiento utilizada.

En lo que respecta al plan de compras, la resolución del modelo brinda una sugerencia, que sirve como apoyo para tomar decisiones. Realizando diversos análisis de sensibilidad, es posible obtener directrices para la Gestión de Inventario como: evaluar posibles negociaciones con los proveedores, justificar aumentos de presupuesto o decisiones de inversión como aumentar la capacidad de almacenamiento.

- Actualización de datos y mejora continua: periódicamente se debería controlar el inventario y obtener las compras sugeridas para el período en cuestión, considerando un menor horizonte de planificación y actualizando parámetros como el presupuesto disponible y el inventario inicial.

7.2 Recomendaciones al Departamento de Hemodinamia

A partir del relevamiento del caso de estudio, y con la intención de colaborar con la mejora en la Gestión de Inventario de Insumos Médicos Especializados, se presentan a continuación algunas recomendaciones.

- Realizar el control de inventario y vencimiento de Insumos Médicos Especializados de forma sistemática en el período de revisión definido.
- Revisar la estimación de insumos necesarios por intervenciones, incorporando por ejemplo, el registro digitalizado de consumos por intervención. Realizando esta tarea en conjunto con los pronósticos de intervenciones, se podría lograr una estimación de la demanda más precisa.
- Definir y registrar formalmente el inventario de seguridad por insumo considerando las variaciones de la demanda de intervenciones a través de su análisis estadístico.
- Establecer una única nomenclatura para la descripción y codificación de cada insumo que sea difundida y utilizada por el personal involucrado en su manejo.
- Profundizar en el control del almacenamiento respetando el orden de consumo FEFO.
- Definir vida útil permitida por insumo a partir de la recepción de los insumos.
- Incorporar registros de evaluación de los proveedores basada en la calidad de sus insumos, plazos de entrega, incumplimientos, entre otros.

Se considera de importancia la formalización de los procesos y registros mencionados de forma de obtener datos precisos para la toma de decisiones y la mejora continua de las mismas.

8 Conclusiones y trabajos futuros

En este Proyecto se estudió la problemática de Gestión de Inventario de Insumos Médicos Especializados. Debido a su influencia directa en la atención de pacientes, el principal objetivo fue lograr un sistema de Gestión de Inventario que cumpliera con ciertos niveles de servicio al costo mínimo y contemplara las particularidades de estos insumos.

Se tomó como caso de estudio un Instituto de Medicina Altamente Especializada, que busca obtener la excelencia asistencial ya que en sus intervenciones está en juego el pronóstico vital o funcional del paciente. Específicamente, se estudió el Departamento de Hemodinamia del Hospital de Clínicas, enfrentando como principal dificultad la obtención de datos.

Se modeló matemáticamente esta realidad, obteniendo un problema de Programación Lineal Entera Mixta, considerando un enfoque de revisión periódica de inventario, con múltiples insumos y proveedores con capacidad finita. La función objetivo resulta en la minimización de la suma de los costos asociados a la Gestión de Inventario.

Luego de haber definido un horizonte de planificación de dos años, se obtuvo una solución óptima en la que el valor objetivo está constituido principalmente por el costo de adquisiciones, observándose la utilización de la totalidad del presupuesto del segundo año. Además, no existió ningún caso de desabastecimiento que impidiera la realización de intervenciones.

Del Análisis de Sensibilidad surge que, si se pudiera distribuir el presupuesto de mejor manera, se obtendría un ahorro en los costos totales. De todas formas, se detectó la necesidad de aumentar el presupuesto en el mediano plazo para cumplir con el aumento de demanda esperado. También se podrían obtener mejoras si todos los proveedores entregaran en unidades y/o aumentaran su capacidad. Se destaca además que las variaciones en el nivel de servicio tienen mínima influencia en el valor objetivo.

Considerando la reposición del inventario de seguridad, el Plan de Compras resultó robusto frente a distintos valores de demanda, debido a que las variaciones fueron amortiguadas. Cabe destacar que en ningún caso analizado se dejaría de intervenir al paciente por faltante de insumos.

Con el objetivo de aplicar lo modelado a la realidad del caso de estudio, se elaboró una herramienta de apoyo para la toma de decisiones estratégicas y un conjunto de recomendaciones para su aplicación. Para lograr el desarrollo de dicha herramienta, fue necesaria la comprensión de los procesos de trabajo mediante el contacto directo con el personal involucrado.

En trabajos futuros se propone estudiar la re-esterilización de insumos, ya que es un proceso frecuentemente utilizado en el Departamento de Hemodinamia. Para dicha incorporación sería de interés analizar el cumplimiento de condiciones técnicas como: la cantidad máxima de re-esterilizaciones, la incidencia en la vida útil del insumo, la probabilidad de falla del proceso y del insumo re-esterilizado. Además, se debería analizar la trazabilidad y orden de consumo de los insumos a reutilizar, así como los costos y plazos asociados.

A partir del modelado del arribo de pacientes como una Distribución de Poisson, en trabajos futuros se podría incluir la estocacidad dentro del modelo. También se podrían incorporar otros parámetros para la toma de decisiones, como la evaluación de proveedores, la calidad de sus insumos y su tiempo de entrega.

Transitadas las etapas del Proyecto, desde la investigación del caso de estudio hasta el desarrollo de una herramienta para la toma de decisiones, reflexionamos acerca de la aplicación de la Ingeniería en ámbitos sociales. Destacamos cómo el uso de conceptos como los de optimización y programación lineal puede colaborar en la resolución de desafíos complejos y sensibles como brindar un servicio de calidad en el ámbito de la Salud.

Bibliografía

1. N. Attanayake, R.F. Kashef, T. Andrea, 2014. A Simulation Model for A Continuous Review Inventory Policy for Healthcare Systems. *Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*. Waterloo, Canadá.
2. R.H. Ballou, 2004. Logística: Administración de la Cadena de Suministros, Prentice Hall, 5ta edición. ISBN: 970-26-0540-7.
3. M. Bijvank, I. F. A. Vis, 2012. Inventory control for point-of-use locations in hospitals. *Journal of the Operational Research Society*, 63 (4), 497–510.
4. C. Chan, L. Green, 2013. Handbook of Healthcare Operations Management, cap 1, Improving Access to Healthcare: Models of Adaptive Behavior. Springer, 184. ISBN 978-1-4614-5884-5.
5. Centro Cardiovascular Universitario (2011). Que es el Centro Cardiovascular Universitario. Recuperado de http://www.cencar.hc.edu.uy/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1 Último acceso 31/07/2017.
6. Fondo Nacional de Recursos (10/2006-12/2006). Medicina altamente especializada. Parte I. Extractado de: equidad, calidad y sustentabilidad en salud. Recuperado de <http://www.bps.gub.uy/bps/file/1716/1/fondo-nacional-de-recursos-medicina-altamente-especializada-parte-i..pdf> Último acceso 31/07/2017.
7. W. J. Guerrero, T. G. Yeung, C. Guéret, 2013. Joint-optimization of inventory policies on a multi-product multi- echelon pharmaceutical system with batching and ordering constraints. *European Journal of Operational Research* 231 (1), 98-108.
8. R. Handfield, E. Nichols, 1999. Introduction to Supply Chain Management, Prentice Hall, 1ra edición. ISBN: 0-13-621616-1.
9. P. Kelle, J. Woosley, H. Schneider, 2012. Pharmaceutical supply chain specifics and inventory solutions for a hospital case. *Operations Research for Health Care* 1, 54-63.
10. L. J. Krajewski, L. P. Ritzman, 2000. Administración de operaciones: estrategia y análisis, Pearson Educación, 5ta edición. ISBN: 968-444-411-7.
11. Manual of the National Institute for Health and Care Excellence. Recuperado de <https://www.nice.org.uk/article/pmg20/chapter/7-Incorporating-economic-evaluation> Último acceso 28/09/2016.
12. Misión y perfil del Hospital de Clínicas “Dr. Manuel Quintela”. Recuperado de <http://www.hc.edu.uy/index.php/conozca-el-hc/mision-y-perfil> Último acceso 31/07/2017.

13. M. Müller, 2005. Fundamentos de la Administración de Inventarios, Editorial Norma, 1ra edición. ISBN 958-04-8457-0.
14. S. Nahmias, 2007. Análisis de la Producción y las Operaciones. McGraw-Hill, 1ra edición. ISBN 9789701062395.
15. S. A. Narayana, R. K. Pati, P. Vrat, 2013. Managerial research on the pharmaceutical supply chain – A critical review and some insights for future directions. *Journal of Purchasing & Supply Management* 20 (2014), 18-40.
16. M. Onal, H.E. Romeijn, A. Sapra, W. van den Heuvel, 2015. The Economic Lot-Sizing Problem with Perishable Items and Consumption Order Preference. *European Journal of Operational Research* 244 (2015), 881-891.
17. R. Pérez., S. Mosquera, J. Bravo, 2012. Aplicación de modelos de pronóstico en productos de consumo masivo. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 10 (2), 117 - 125.
18. V. Pinto, 2009. Gestión de costos en una cadena de farmacias (Tesis de grado). Facultad de Ciencias Económicas y Administración, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.
19. C. R. Rosales, M. Magazine, U. Rao, 2014. Point-of-Use Hybrid Inventory Policy for Hospitals. *Decision Sciences*, 45 (5), 913–937.
20. S. Saedi, O. Erhun Kundakcioglu, A.C. Henry, 2016. Mitigating the impact of drug shortages for a healthcare facility: An inventory management approach. *European Journal of Operational Research* 251, 107-123.
21. R.G. Schroeder, S. Meyer Goldstein, M. Johnny Rungtusanatham, 2011. Administración de operaciones, Mc Graw Hill, 5ta edición. ISBN: 978-607-15-0600-9.
22. J. Stonebraker, D. Keefer, 2009. Modeling Potential Demand for Supply-Constrained Drugs: A New Hemophilia Drug at Bayer Biological Products. *Operations Research* 57 (1), 19-31.
23. R. Uthayakumar, S. Priyan, 2013. Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital. *Operations Research for Health Care* 2, 52-64.
24. C.J. Vidal Holguín, 2005. Fundamentos de la Gestión de Inventario, Universidad del Valle Facultad de Ingeniería, 3ra edición. Santiago de Cali, Colombia.
25. A.R. Vila-Parrish, R.E. King, J. Simmons, 2008. A simulation-based approach for inventory modeling of perishable pharmaceuticals, Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, North Carolina State University. Raleigh, NC 27695-7906, U.S.A..

26. K. Vitasek, 2013. CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary. Illinois, Estados Unidos; Council of Supply Chain Management Professionals. Recuperado de <https://cscmp.org/>. Último acceso 28/09/2016.

Anexos

Anexo I: Estado del arte

Introducción

El objetivo de este documento es brindar un estado del arte sobre la temática de gestión de inventario de artículos farmacéuticos y/o insumos médicos especializados en instituciones de salud.

La gestión de inventario se puede definir brevemente como la determinación de respuestas acerca de cuánto, cómo y cuándo ordenar, para satisfacer un nivel de servicio predeterminado, manteniendo un equilibrio con los costos asociados.

Desde el modelo de lote económico de Harris (1915) a la actualidad, distintos autores han investigado y propuesto modelos asociados a la gestión de inventario. Ahora bien, ¿en qué radica la importancia de esta temática?

El impacto en el cumplimiento del nivel de servicio y los altos costos asociados, vuelven a la gestión de inventario un factor crítico de la Cadena de Suministro y un elemento estratégico determinante para generar valor en una organización (Schroeder et al. 2011).

La gestión de inventario en el ámbito de la salud tiene particularidades interesantes que promueven a investigar y estudiar en profundidad esta cuestión. La influencia directa en la salud de los pacientes y en la calidad del servicio brindado es la principal motivación, convirtiendo al tema en una problemática de carácter social. Además, la temática es de interés debido a los altos costos asociados a los productos involucrados, sus características particulares, como ser la caducidad y los cuidados en su almacenamiento.

El documento está organizado de la siguiente manera: en la *Sección 2* se realiza un acercamiento a los aspectos generales de la logística y luego se profundiza en las particularidades de la Cadena de Suministro farmacéutica. En la *Sección 3*, se ahonda en los trabajos recientes sobre la temática. El documento finaliza con las conclusiones brindadas en la *Sección 4*.

Marco Teórico

Esta sección trata los aspectos generales de la Cadena de Suministro, centrándose en la gestión de inventario, para luego profundizar en las particularidades de las instituciones de salud y los artículos que gestionan.

Se describen los conceptos fundamentales relacionados a la Cadena de Suministro, la motivación para la existencia de los inventarios y sus clasificaciones, los tipos de rotación de los artículos y de los pronósticos de demanda. Se da también un acercamiento profundo a los modelos de gestión de inventario, clasificados de manera general en dos grandes grupos según el modelo de revisión que puede ser continuo o periódico.

Luego de haber dado marco teórico a los aspectos en los cuales está inmersa la temática, se plasman las principales características de la Cadena de Suministro farmacéutica, así como sus costos asociados.

Cadena de Suministro

La Cadena de Suministro se puede definir como el conjunto de todas las operaciones que se abastecen entre sí, desde la manufactura hasta el consumidor final (Schroeder et al., 2011). Es decir, consiste en el flujo físico de materiales, dinero e información a lo largo de la totalidad de la cadena de compras, producción y distribución. Por lo tanto, puede involucrar muchas organizaciones y actividades, donde cada una se puede ver como un eslabón de una cadena.

Según Ballou (2004), la administración de la Cadena de Suministro enfatiza las interacciones de la logística que tienen lugar entre las funciones de marketing, logística y producción en una empresa, así como las interacciones que se llevan a cabo entre empresas independientes dentro del canal de flujo del producto.

Además, propone que la gestión de la Cadena de Suministro abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes, desde la etapa de extracción de materia prima hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados. Los materiales y la información fluyen en sentido ascendente y descendente en la Cadena de Suministro. También es la integración de estas actividades mediante el mejoramiento de las relaciones de la Cadena para alcanzar una ventaja competitiva y sustentable.

La administración de la Cadena de Suministro, según Mentzer (2001), es la coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales del negocio y de las tácticas dentro de una compañía en particular, y a través de las empresas que participan de la cadena de abastecimiento con el fin de mejorar el desempeño a largo plazo de cada eslabón y de la cadena en su totalidad.

La gestión de la Cadena de Suministro abarca la planificación y gestión de todas las actividades involucradas en el abastecimiento, la adquisición, la conversión y todas las actividades de gestión de la logística. Es importante destacar que también incluye la coordinación y la colaboración con los socios de canal, que pueden ser proveedores, intermediarios, proveedores de servicios de terceros y clientes. En esencia, la gestión de la Cadena de Suministro integra la oferta y la gestión de la demanda dentro y fuera de las empresas, según el Concilio de Profesionales de la Gestión de la Cadena de Suministro (CSCMP).

Ballou (2004) recomienda la creación de procesos transparentes dentro de las propias compañías y en la aplicación de nuevas tecnologías de información, para mejorar la calidad de la Cadena y la velocidad de intercambio entre los miembros del canal de flujo.

La logística de la Cadena de Suministro gira en torno a crear valor: para los clientes, proveedores y accionistas. Dicho valor se expresa fundamentalmente en términos de tiempo y lugar. Por lo tanto, cada actividad debe ser una contribución al proceso de añadir valor,

considerando la estructura organizacional, la administración y la importancia de las mismas para sus operaciones.

Los costos de una empresa se ven afectados significativamente por la Cadena de Suministro, así como el nivel de servicio que se quiere brindar, por lo tanto, la coordinación y la colaboración entre los miembros son oportunidades para mejorar estos aspectos. El éxito de las empresas se relaciona con el intercambio de información con sus proveedores, coordinando, por ejemplo, cómo gestionar los inventarios (Ballou, 2004).

Inventarios

Según Kate Vitasek (2013), los inventarios son componentes, materias primas, productos en proceso, productos terminados y materiales necesarios para la creación de bienes y servicios; también puede referirse al número de unidades y/o el valor del depósito de bienes en poder de una empresa.

Por otra parte, Ballou (2004), define el inventario como las acumulaciones de materias primas, productos en proceso y terminados que se pueden encontrar en diversos niveles de la Cadena de Suministro. Los principales motivos para contar con inventarios, se deben al servicio al cliente y/o a la obtención de posibles beneficios económicos. Dentro de los referidos al servicio al cliente, en general, el flujo de producción no es igual al flujo de la demanda del producto, por lo que, si se genera inventario, se produce un grado de disponibilidad mayor para abastecer a la demanda requerida.

Es importante notar que, muchas veces se utiliza el inventario como amortiguador ante las variaciones en la demanda o el suministro. Por ejemplo, frente a variaciones en los tiempos de producción o transporte, ya sea de materias primas como de producto terminado, así como la posibilidad de acontecimientos inesperados, como por ejemplo desastres naturales, huelgas laborales, mantenimiento correctivo, entre otros.

Por otro lado, acerca del potencial beneficio económico, si bien mantener inventarios genera un aumento en los costos, muchas veces se puede justificar por ahorros en otro eslabón de la cadena, por ejemplo, obteniendo economías de escala, descuentos por compras al mayor y ahorros en transporte. También se pueden tener ahorros financieros, por ejemplo, si el producto que se adquiere va a tener un aumento de precio en períodos cercanos.

Siguiendo con la teoría expresada en Ballou (2004), se diferencian cinco tipos de inventario:

- Inventario de reaprovisionamiento o de ciclo: es el necesario para abastecer la demanda durante el período de reaprovisionamiento.
- Inventario de seguridad: es el que busca absorber las variaciones imprevistas e incertidumbres.
- Inventario de especulación: es el que se refiere a manejos financieros.
- Inventario en tránsito o en ductos: es el que se encuentra en movimiento entre los eslabones de la Cadena de Suministro.

- Inventario muerto o perdido: es el que se refiere a los productos con características de deterioro, caducidad o robo.

Por otro lado, Axsäter (2015) define al nivel de inventario como el inventario en mano más las órdenes pendientes de llegar menos los pedidos pendientes de entregar.

Tipos de asignación

Cuando los artículos del inventario son perecederos, la forma de asignación, es decir, el orden en el cual se consumen, se vuelve un factor de suma importancia. Las cuatro maneras de asignación más usadas y conocidas para la rotación de inventario se basan en el orden de llegada o en la proximidad de su vencimiento (Onal et al., 2015). Estos métodos son: FIFO (First in, First out), en el que el armado de pedido se realiza con la primera mercadería que ingresa al inventario, y LIFO (Last in, First out), en el que lo último que ingresa al inventario es lo primero en salir. Los métodos por preferencia según la fecha de caducidad son FEFO y LEFO, (First Expiration, First Out y Last Expiration, First Out), en los que primero se despachan los artículos con vencimiento más próximo o más lejano respectivamente.

En Onal et al. (2015) se demuestra que si el abastecimiento se da de manera que los nuevos artículos tengan vencimiento posterior a los que ya se encuentran en inventario, entonces los dos tipos de modelos de asignación son iguales. Sin embargo, no siempre se puede tomar esta consideración, ya que muchas veces el o los proveedores pueden abastecer desde distintos almacenes con distintos plazos de entrega.

Por otro lado, es fundamental considerar la realidad de cada Cadena de Suministro, ya que no siempre se puede trabajar con el mecanismo FEFO, que como se prueba en Onal et al. (2015), resulta en menores pérdidas económicas. A modo de análisis, se considera el ejemplo de un minorista que exhibe sus productos en góndola de manera de obtener una rotación FEFO, ubicando los productos con mayor vencimiento al final de la góndola. Sin embargo, es más probable que los consumidores prefieran los productos con mayor fecha de vencimiento, por lo que la asignación sería LEFO para los casos en los que el consumidor elija el producto preferido. Existen casos en los cuales la diferencia entre los costos óptimos que se obtienen por operar de manera FEFO o LEFO es despreciable, como muestran los autores antes mencionados.

Pronósticos de demanda

Los pronósticos de la demanda son esenciales para todo tipo de industrias y proporcionan información relevante a todas las áreas de la organización como logística, finanzas, marketing y ventas. La estimación de la demanda sirve también para el diseño de nuevos procesos, análisis de capacidad de plantas o depósitos, así como proyecciones de necesidades financieras como indican Ballou (2004) y Schroeder et al. (2011).

En general, los artículos forman patrones de demanda en el tiempo, llamados “series de tiempo”. La demanda puede ser regular o irregular. En el primer caso, se pueden observar artículos con demandas estacionales o niveladas, así como contar o no con elementos de

tendencia. Por otro lado, cuando la demanda es intermitente con un alto grado de incertidumbre, la serie de tiempo es irregular. Este último patrón de demanda es el más difícil de pronosticar como expresa Ballou (2004).

La demanda puede variar según las operaciones de la organización. Cuando se genera por parte del mercado, entonces la demanda es independiente y los pronósticos a partir de procedimientos estadísticos en general funcionan bien según el autor antes citado. Cuando la demanda está ligada a otros artículos o programas de producción, entonces es dependiente.

Otra clasificación de la demanda es entre estacionaria y no estacionaria. Si existen fluctuaciones periódicas en la serie de tiempo la demanda es estacionaria (por ejemplo, la demanda de artículos escolares) y en caso de no poder determinar estacionalidad en la serie de tiempo, la demanda es no estacionaria.

Para el modelado de la demanda, se debe considerar si la misma es determinística o estocástica. En el primer caso, la demanda se asume conocida con exactitud, mientras que, en el modelo estocástico, se aproxima mediante una distribución de probabilidad.

Existe una gran variedad de métodos de pronósticos estandarizados. Ballou (2004) y Schroeder et al. (2011) los presentan en tres clases: métodos cualitativos, de proyecciones históricas y causales, siendo los últimos dos cuantitativos.

Los métodos cualitativos utilizan: criterio administrativo, juicio, intuición, técnicas comparativas, experiencia, datos relevantes, entre otros, para generar estimados cuantitativos. Entre los principales métodos cualitativos se encuentran el método Delphi, los estudios de mercado, la analogía del ciclo de vida y el criterio informado.

Los métodos de proyección histórica se usan para hacer análisis detallados de los patrones históricos de la demanda a lo largo del tiempo para proyectarlos hacia el futuro. El supuesto principal en este tipo de métodos, consiste en que la demanda se puede descomponer en elementos básicos como ciclo, error, nivel promedio, tendencia y estacionalidad. Los métodos más conocidos y usados son los promedios móviles, suavización exponencial y Box-Jenkins.

Por último, los métodos causales se basan en que el pronóstico deriva de otras variables relacionadas. En la medida que se describen modelos de causa y efecto y se encuentren variables consistentes, es posible utilizar métodos causales como regresiones, modelos econométricos, de insumo-producto o de simulación.

Las características más relevantes de los pronósticos son las siguientes (Nahmias, 2007):

- Casi siempre están equivocados.
- Un buen pronóstico también da una medida de error.
- Los pronósticos agregados son más fáciles de realizar que pronosticar unidades individuales.

- Entre más lejano sea el horizonte de pronóstico, la exactitud de la predicción disminuirá.
- Una técnica de pronóstico no debe usarse para excluir información conocida.

Gestión de inventarios

Generalidades

Hopp (2004) define que el objetivo de la gestión de inventario es garantizar la disponibilidad de insumos o productos terminados, logrando un equilibrio entre el costo y el nivel de servicio deseado.

La actividad principal de la gestión de inventario es determinar la política adecuada de abastecimiento, encontrando las mejores respuestas a las cuestiones de cuánto y cuándo pedir (Axsäter, 2015).

Tanto la determinación de la política de inventario como el modelo de demanda a utilizar dependen de diversos factores, como ser: la naturaleza del producto, el nivel de servicio deseado, el tiempo de entrega del proveedor, las restricciones de aprovisionamiento, los patrones de demanda y el período de revisión (Vidal, 2005).

Modelo de Cantidad Económica de la Orden (EOQ)

Harris en 1915 propuso el hoy denominado Modelo de Cantidad Económica de la Orden, el cual bajo los supuestos de: tasa de demanda determinista, recurrente y conocida, tiempo de entrega conocido y constante, costos unitarios y constantes y sin faltantes, establece que la cantidad óptima a pedir es:

$$Q = \sqrt{\frac{2KD}{iC}} \quad (1.1)$$

Siendo:

D : La tasa de demanda.

K : El costo por orden.

i : La tasa de mantenimiento inventario.

C : El costo unitario de compra.

Sin embargo, con las hipótesis consideradas se excluyen varios tipos de problemas de inventario, es decir, ¿qué pasa si la demanda no es constante?, ¿y si no es conocida?, ¿y en caso de que hubiera muchos artículos?

Con respuesta a estas preguntas, surgen otros modelos de inventario que se basan en el modelo clásico de Harris.

Modelos de revisión continua

Los modelos de revisión continua pueden considerarse una extensión del modelo EOQ, en los que se puede monitorear el nivel de inventario continuamente o luego que ocurre una transacción, (Axsäter, 2015).

Modelo (s, Q)

La regla de decisión de este modelo es revisar continuamente el nivel de inventario en mano (el disponible más el ordenado) y cuando el mismo disminuye al punto de reorden s , se ordena la cantidad fija Q (Schroeder et al., 2011).

El punto de reorden indica el nivel de inventario de un artículo en el que se debe realizar una orden de reaprovisionamiento, de modo que no se consuma el inventario de seguridad antes de su ingreso.

Este modelo se puede representar como un “sistema de dos cajones” en el que el segundo cajón contiene la demanda estimada durante el plazo de entrega del proveedor. Entonces si todo fuera ideal, una vez que se acaba el primer cajón se hará un pedido fijo correspondiente al contenido de los dos cajones. Al llegar la orden se vuelven a llenar los mismos, suponiendo que el plazo de entrega sea exacto y que no se presenten órdenes retrasadas ni faltantes (Müller, 2005).

En el caso de sistemas simples, se puede estimar la cantidad a pedir Q , utilizando la fórmula de EOQ descrita anteriormente.

Modelo (s, S)

Este modelo consiste en que cada vez que el inventario alcanza un valor menor o igual al punto de reorden s , se realiza un pedido hasta alcanzar el nivel máximo S . La cantidad a pedir resulta de la diferencia entre el nivel máximo establecido y la cantidad disponible al momento de la orden.

La principal diferencia con el modelo (s, Q) es que la cantidad a ordenar es variable entre un pedido y otro.

Se plantea que el modelo (s, S) es apropiado cuando la demanda es irregular e imprevisible (Ballou, 2004).

Modelos de revisión periódica

En los modelos de revisión periódica, el nivel de inventario se monitorea en determinados momentos de tiempo, siendo el intervalo de tiempo entre cada revisión, el período de revisión (Axsäter, 2015).

Ballou (2004) expresa que la revisión periódica es ventajosa a la hora de trabajar con varios artículos ya que posibilita la revisión conjunta de los niveles de inventario, generando posibles economías de producción, transporte y compras. Por ende, los sistemas de revisión periódica suelen estar asociados a un nivel de inventario mayor, pero los costos añadidos

podrían estar compensados por reducción de costos administrativos, de adquisición y precios.

Problema de Dimensionamiento del Lote Económico (ELSP)

El problema básico de revisión periódica es el denominado Problema de Dimensionamiento del Lote Económico (ELSP).

En el ELSP clásico se considera una demanda variable en el tiempo y una cantidad finita de períodos discretos (días, semanas, etc.) para los cuales esta es conocida. Se supone que no hay inventario inicial, que los costos de ordenar y almacenar son constantes y no se permiten faltantes.

Se busca hallar la cantidad de lotes a ordenar por período, de forma de minimizar los costos de pedido y almacenamiento, satisfaciendo la demanda.

Para lograr este objetivo se consideran las siguientes propiedades, Axsäter (2015):

- Propiedad 1 (propiedad de inventario cero): El tamaño del pedido de reposición siempre debe cubrir un número entero de demandas de períodos consecutivos.
- Propiedad 2: Los costos de almacenamiento de un período de demanda nunca deben exceder el costo de pedido.

Este problema se puede modelar matemáticamente como:

$$\min \sum_{i=1}^n \{c_i(x_i) + h_i(y_i)\} \quad (1.2)$$

Sujeto a:

$$y_0 = 0 \quad (1.3)$$

$$x_i \geq 0, \quad 1 \leq i \leq n \quad (1.4)$$

$$y_i \geq 0, \quad 1 \leq i \leq n \quad (1.5)$$

$$x_i + y_i = y_{i+1} + d_i, \quad 1 \leq i \leq n \quad (1.6)$$

Siendo:

$c_i(x_i)$: Costo de ordenar una cantidad x durante el período i .

$h_i(y_i)$: Costo de mantener en inventario una cantidad y_i durante el período i .

d_i : Demanda durante el período i .

La restricción (I.6) define el nivel de inventario en base al inventario del período anterior en adición de la cantidad ordenada menos la demanda del período. A su vez el modelo supone un inventario inicial nulo (I.3).

La forma más común de resolución en forma exacta del ELSP es mediante un enfoque de Programación Dinámica, siendo Wagner & Whitin (1958) los pioneros en proveer un algoritmo eficiente para este problema. En este se busca minimizar el costo del plan de producción, considerando: costos de ordenar o de configuración, costos de producción y costos de inventario.

A partir del ELSP se crearon nuevos modelos ampliados de diversas maneras, por ejemplo: considerando atrasos (Zangwill, 1968), capacidad de producción (Bitran & Yanasse, 1982 y Florian, Lenstra, & Rinnooy Kan, 1980), límites de inventario (Atamtürk & Kücükayavuz, 2005; Hwang & van den Heuvel, 2012; Liu 2008; Toczyłowski, 1995), vencimiento de artículos (Hwang & Hahn, 2000); demandas determinísticas (Zhou & Yang, 2003) y demandas estocásticas (Fries, 1975; Liu & Lian, 1999; Nahmias & Pierskalla, 1973; Olsson & Tydesjö, 2010; Tekin et al., 2001).

Modelo (P, S)

Es un modelo de revisión periódica en el que el nivel de inventario debe revisarse con base en intervalos periódicos fijos P . En cada revisión se ordena una cantidad igual al inventario fijado como meta S menos el nivel de inventario al momento del pedido, (Schroeder et al., 2011).

En el caso de un solo artículo y con una distribución de demanda conocida, una buena aproximación es calcular el período de revisión P como:

$$P = \frac{Q}{D} \quad (1.7)$$

Siendo Q la cantidad óptima del modelo EOQ.

Para determinar el valor del nivel de inventario objetivo S , se considera cubrir la demanda y el inventario de seguridad a lo largo del período de la orden más el tiempo de entrega. El inventario de seguridad se determina en base al nivel de servicio.

Gestión de inventario en Instituciones de Salud

Cadena de Suministro

Handfield & Nichols (1999) definen la Cadena de Suministro farmacéutica como la integración de todas las actividades asociadas con el flujo y transformación de medicamentos desde la materia prima hasta el usuario final, así como los flujos de información asociada.

En instituciones de salud la Cadena de Suministro contiene tres participantes principales: productores, compradores y proveedores. Los productores pueden ser compañías farmacéuticas, empresas de productos médicos quirúrgicos, fabricantes de dispositivos,

fabricantes de equipamiento y sistemas de información. Los compradores incluyen Grupos de compras (GPOs), mayoristas farmacéuticos, distribuidores de productos quirúrgicos médicos, distribuidores independientes contratados y representantes de productos. Los proveedores incluyen hospitales, sistemas de hospitales, redes de envío integradas.

La Cadena de Suministro farmacéutica es muy compleja y acarrea mucha responsabilidad ya que, se debe asegurar que los medicamentos lleguen a los pacientes en tiempo y forma para combatir la enfermedad y/o el sufrimiento. Es altamente sensible porque un nivel de servicio menor al 100% impacta directamente sobre la salud y la seguridad de los pacientes. Es por esto que muchas industrias farmacéuticas mantienen un alto nivel de inventario (Uthayakumar & Priyan, 2013). La caducidad de los artículos o insumos médicos es otra cuestión crítica a tener en cuenta ya que suministrarle productos vencidos a un paciente, podría tener efectos potencialmente graves tanto en su salud como en la imagen pública de la institución.

Por lo tanto, la importancia del nivel de servicio, los altos costos, la coordinación requerida, las restricciones expuestas y la caducidad de los artículos e insumos médicos, transforman a la gestión de inventario en Instituciones de Salud en una problemática de alta relevancia social.

Pronósticos de la demanda

De acuerdo a Vila-Parrish & Ivy (2013), la demanda para artículos farmacéuticos es incierta ya que, a pesar de variar con fenómenos estacionales, existen factores como ser la cantidad de pacientes, la duración de su estadía y el tipo de tratamiento que requieren, que hacen que la demanda sea no estacionaria.

La demanda de artículos farmacéuticos e insumos médicos está impulsada por variables difíciles de medir, como el clima, las epidemias, las brigadas de salud, el cambio de personal médico, el número de usuarios, los cuales pueden comportarse irregularmente o tener un factor estacional y de tendencia. A su vez, la zona geográfica en donde se distribuyen también afecta a los pronósticos de la demanda, para el caso de estudio analizado por Pérez et al. (2012) sobre medicamentos de consumo masivo en una región de Colombia.

Stonebraker et al. (2009) presenta un modelo de pronóstico de demanda de artículos farmacéuticos para los cuales la información histórica no es suficiente, ya sea porque se cuenta con pocos datos o porque la escasez de producto impide conocer la demanda real. Este pronóstico se realiza a través del modelado de la “demanda latente terapéutica” (LTD), que representa como los médicos prescriben los medicamentos y como seguiría la evolución del tratamiento si estos estuvieran disponibles en todo momento. En lugar de pronosticar en base a datos históricos, se estudian los datos estadísticos de la epidemia sobre la población, como la aparición de la enfermedad, su distribución y la variabilidad en las modalidades de tratamiento, para calcular la distribución de probabilidad de la LTD.

Gestión de inventario

Como se menciona anteriormente, la disponibilidad de los artículos farmacéuticos e insumos médicos en una Institución de Salud es un factor crítico en pos de garantizar la seguridad

del paciente. En el tema de cuidado de salud no existe el concepto de “ventas perdidas”, la demanda debe ser satisfecha por un medio u otro (Guerrero et al., 2013).

Sin embargo, el exceso de inventario no es una solución adecuada ya que podría convertirse en obsoleto por tratarse de artículos perecederos.

Los hospitales usualmente usan estrategias de clasificación de inventarios ABC, con las que se puede identificar a la pequeña parte de los insumos hospitalarios que representan el mayor porcentaje de los costos (Principio de Pareto), y así determinar qué tan críticos son estos (Vila-Parrish & Ivy, 2013).

Por otra parte, existe un método basado en el análisis de criticidad de los artículos médicos llamado VED, donde “V” representa a los artículos vitales que el hospital necesita para cumplir su función, “E” a los que son esenciales ya que pueden impactar en la calidad del servicio, y “D” a los deseables que no impiden el funcionamiento del hospital.

Gupta et al. (2007) combina la metodología ABC con el análisis VED, elaborando una matriz ABC-VED, a partir de la cual define tres categorías: Categoría I (AV + BV + CV + AE + AD), Categoría II (BE + CE + BD) y Categoría III (CD), con el objetivo de identificar cuáles son los insumos que necesitan una gestión de control más estricta (Categoría I).

Costos en la gestión de inventario

Los artículos farmacéuticos representan una gran parte de los costos en el sector de la salud debido a sus características y sus requisitos de almacenamiento y control (Kelle et al., 2012).

La administración de inventarios involucra intereses encontrados entre las diferentes áreas de una organización (Marketing, Contabilidad y finanzas, Operaciones, Recursos humanos) por lo que se debe tener un enfoque de minimización de costos total (Schroeder et al., 2011). Para la gestión de inventario de artículos farmacéuticos en particular, se deben minimizar los costos sin sacrificar el nivel de servicio al paciente.

En general, las estructuras de costos de inventario incorporan cuatro tipos (Schroeder et al., 2011):

- Costo del artículo: costo de comprar o producir los artículos individuales del inventario.
- Costo de ordenamiento (o de preparación): se incurre en él cuando se ordena un lote de artículos. En general no depende del tamaño del lote ordenado ya que se asigna a la totalidad. Este costo incluye la creación de la orden de compra, el despacho de la orden, los costos de recepción, los costos de transporte, entre otros. Si el artículo es producido, también existen costos asociados con la colocación del producto que son independientes de la cantidad producida.
- Costo de mantenimiento: es el asociado a mantener los artículos en el inventario durante un período. Consta de tres componentes:

- Costo de capital: es un costo de oportunidad ya que, al tener artículos en un inventario, el capital invertido en ellos no está disponible para otros propósitos.
 - Costo de almacenamiento: incluye el costo variable del espacio, seguros e impuestos. Los productos farmacéuticos requieren condiciones particulares de almacenamiento, por ejemplo, temperatura y humedad específicas, lo que hace que sus costos sean diferentes a los de otro producto. Los costos de los seguros pueden incluir: seguros a la mercadería, contra incendios, contra robos, y pueden ser considerados costos fijos.
 - Costo de obsolescencia, deterioro y pérdida: Los costos de las pérdidas incluyen los costos de robos y mermas. Los costos de obsolescencia se asignan a los artículos que tienen un alto riesgo de volverse obsoletos. Los artículos perecederos reciben un cargo por los costos de deterioro cuando se estropean a lo largo del tiempo.
- Costo de faltantes de inventario: Refleja las consecuencias económicas de quedarse sin inventario. En el caso de instituciones médicas, los faltantes de inventario, además de los perjuicios que ocasionan en los pacientes por poner en riesgo su salud, generan altos costos que incluyen pedidos de emergencia del producto faltante, y mayores tiempos de internación o del cuidado del paciente. Además, ocasionan suministro de insumos sustitutos al paciente que no siempre tienen el efecto deseado, perjudicando la mejora del mismo.

En la Cadena de Suministro farmacéutica, una gestión de inventario eficiente es crucial, ya que se trata de artículos perecederos y su obsolescencia genera un costo elevado para las instituciones. Puntualmente los hospitales son los más afectados por esto, ya que están en contacto directo con los pacientes. Uno de los principales costos en los que se puede incurrir es el de disposición de mercadería vencida, las posibles sanciones que pudieran producirse por comercializar erróneamente esos productos o ante una inspección del organismo regulador, según indica Pinto (2009).

Saedi et al. (2015) afirma que los costos por obsolescencia y sustitutos son más significativos que los de almacenamiento y ordenamiento en un centro de salud, ya que los artículos sustitutos son a menudo más caros que los convencionales. Por otro lado, las inversiones en inventario las estima entre un 10% y 18% de los ingresos netos. Por último, estima que el costo de gestión de inventario se encuentra entre un 17% y 35% de los ingresos totales del hospital.

Trabajos analizados

En la presente sección se describe un conjunto de trabajos recientes, buscando ampliar el conocimiento sobre el enfoque teórico estudiado en la sección anterior.

Se expresa la problemática, modelos y conclusiones alcanzadas por los autores, profundizando en aquellos artículos que resultan más relevantes para la temática tratada.

La revisión bibliográfica se organiza en cuatro secciones. La primera es un acercamiento a los últimos trabajos realizados en el contexto de la Cadena de Suministro de Instituciones de

Salud; las siguientes tres secciones se dividen en base al modelo de gestión de inventario adoptado en el artículo en el cual profundizamos. En primer lugar, los de revisión continua, luego los de revisión periódica y, por último, los sistemas híbridos.

Trabajos de la Cadena de Suministro de Instituciones de Salud

En Narayana et al. (2013), se presenta una revisión sistemática sobre diferentes trabajos en la gestión de la Cadena de Suministro farmacéutica. Se demuestra a través de los resultados que existe un foco tradicional sobre la mejora en la eficiencia, además de un creciente interés en el análisis de procesos e implementación de nuevas tecnologías.

Dentro de los estudios que se centran en mejoras de eficiencia y rentabilidad, se refleja el interés en los flujos de materiales e información a través del desarrollo y rediseño para la creación de modelos óptimos y sustentables para la Cadena de Suministro. Estos estudios se complementan con el incremental interés en la temática orientada a los procesos y proveen una mejor comprensión de las problemáticas asociadas.

Además destaca una transición de cadenas simples (dos eslabones) hacia cadenas que cada vez involucran a más actores, encontrándose entre ellos las industrias de biotecnología, los responsables de asuntos regulatorios y los organismos fiscales.

Desde el punto de vista geográfico, el desarrollo del sistema de cuidado de la salud, así como del mercado farmacéutico se encuentra estrechamente relacionado con la cantidad y naturaleza de los esfuerzos en las investigaciones (en lo que respecta a temática y metodología). Esto es influenciado por la cantidad de trabajos que utilizan casos de estudio, encuestas y/o entrevistas para analizar diferentes problemáticas en organizaciones y regiones específicas. Otra gran parte de los trabajos realizados se encuentra orientada a aplicaciones y usos de modelado matemático que también implican el uso de datos reales y específicos del contexto, pero que por otro lado proveen herramientas y técnicas útiles para la gestión de la Cadena de Suministro farmacéutica.

Modelos de revisión continua

Kelle et al. (2012) estudian el manejo del inventario en una unidad de cuidados, analizando los objetivos contrapuestos que existen entre los diferentes involucrados (médicos, farmacéuticos y grupos compradores GPO) a la hora de tomar decisiones operacionales, técnicas y estratégicas. Por ejemplo, al momento de determinar los medicamentos a ofrecer al paciente, los médicos prefieren una mayor variedad, en cambio el farmacéutico lo contrario, pues obtendría mejores precios debido a economías de escala, facilidad de almacenamiento y de reposición.

En base a esto, se propone una herramienta para el soporte de decisiones a nivel operacional, táctico y estratégico de una unidad de cuidado en un hospital. Esto se realiza mediante la obtención de los parámetros s y S de un modelo de revisión continua. Es de destacar que en el caso de estudio, antes se utilizaba la revisión periódica.

Los indicadores clave en la herramienta propuesta son: el nivel de servicio, el espacio disponible y el número de órdenes por día, según las necesidades del hospital. Variando

estos indicadores, se conocen los resultados a partir del análisis de sensibilidad propuesto en el modelo.

Uthayakumar & Priyan (2013) presentan la problemática de la gestión de la Cadena de Suministro y de inventarios de artículos farmacéuticos, con el objetivo de reducir los costos en ella sin sacrificar el nivel de servicio al paciente. Se afirma que, toda compañía farmacéutica y hospitalaria tiene como objetivos esenciales mantener un alto nivel de servicio y políticas de inventario efectivas, y se discuten las dificultades que se presentan en los hospitales para el logro de dichos objetivos.

Se analiza que los que gestionan el cuidado de la salud tienen el reto de desarrollar políticas de inventario dadas las demandas cambiantes, la capacidad de espacio limitada, el nivel de servicio al cliente, la seguridad del paciente y las regulaciones que afectan al suministro.

A partir de esta problemática, se propone un modelo para la gestión de la Cadena de Suministro y de inventario de dos eslabones: una compañía farmacéutica y un hospital. Este modelo considera múltiples artículos y proveedores con sus tiempos de entrega, y supone que el hospital utiliza una política de revisión continua de inventario.

El modelo contempla las siguientes variables de decisión:

L : Tiempo de entrega.

Q_i : Cantidad de la orden para el artículo i .

n : Total de lotes enviados por la compañía farmacéutica al hospital en un ciclo de producción.

En base a ciertos parámetros establecidos, se define una función de costos $ETC_{hi}(L)$ por unidad de tiempo para un artículo i para un hospital. Esta incluye principalmente: el costo por ordenar, los costos fijos de transporte (F), una función de costo por quiebre de inventario dependiente del tiempo de entrega $R(L)$, la función de costos de oportunidad, los costos de almacenamiento (h_{bi}), una función de intereses (I_c), el costo del inventario de seguridad, el costo de intereses de oportunidad, la función de costos de vencimientos. Luego, realizando una sumatoria para todos los ítems se obtiene una función del costo esperado total para el hospital: $ETC_h(L)$.

En el desarrollo de la función de costos de vencimientos, se asume que los artículos tienen una vida útil determinista y se considera una tasa de expiración probabilística para cada artículo i , por lo que, el total de artículos vencidos es $d_i Q_i$. El costo de vencimiento se aplica desde que se realiza una orden y es función del tiempo de entrega. Por lo tanto, el costo de vencimientos es: $d_i D_i C_{d_i}(L)$. Siendo, D_i la demanda del artículo i , y $C_{d_i}(L)$ una función lineal del tiempo de entrega.

Luego, describe las funciones de costos para una compañía farmacéutica $ETC_p(Q, n)$, en la que consideran los costos de los artículos terminados y de la materia prima. Para el caso de los artículos terminados la función $ETC_f(L)$ incluye costos de: almacenamiento (h_{vi}), producción (P_{ci}), vencimientos, oportunidades de intereses perdidos, como principales componentes. En cuanto al costo de la materia prima $ETC_w(Q, n)$, se elabora una función

para el costo de almacenamiento, costos fijos de transporte, costos de manejo y recepción de las órdenes, y defectos de la materia prima.

Finalmente, el costo integral esperado para la Cadena de Suministro es el siguiente:

$$IETC(Q, L, n) = ETC_h(Q, L) + ETC_p(Q, n) \quad (1.8)$$

Se plantea minimizar la función de costos anterior sujeta a las siguientes restricciones:

- Capacidad de almacenamiento del hospital (W):

$$\sum_{i=1}^M f_i Q_i \leq W \quad (1.9)$$

Siendo f_i , el espacio ocupado por una unidad del artículo i , la sumatoria de lo ocupado por los artículos ordenados no debe superar a la capacidad de almacenamiento del hospital.

- Nivel de servicio:

$$\frac{\text{Demanda no satisfecha esperada del artículo } i \text{ al final del ciclo para un cierto factor de seguridad}}{\text{Cantidad del artículo } i \text{ disponible para satisfacer la demanda por ciclo}} \leq \theta_i \quad (1.10)$$

Siendo θ_i el nivel de servicio que se quiere brindar al paciente; el cual está relacionado con la cantidad de quiebres de inventario que se está dispuesto a aceptar en un período de tiempo para cada artículo i .

Debido a la gran cantidad de variables y a las restricciones del modelo, el problema es no lineal, por lo que aplica un enfoque de Multiplicación Lagrangiana.

En resumen, este trabajo ofrece una herramienta de decisión que determina el óptimo tamaño de lote Q_i , tiempo de entrega L , y número total de entregas n para todos los productos en un ciclo de producción, minimizando el costo integrado total $IETC(Q, L, n)$ de la Cadena de Suministro, respetando las restricciones de capacidad de almacenamiento y de nivel de servicio al paciente.

En Saedi et al. (2015), se busca minimizar el costo total de inventario en un contexto con potenciales interrupciones en el abastecimiento de artículos farmacéuticos.

Se parte de una Cadena de Suministro con las siguientes características: tiempo de entrega nulo, sin costo de ordenar, posibilidad de artículos sustitutos, capacidad limitada de depósito, sin lotes de pedido mínimo, demanda incierta, artículos perecederos.

Para mitigar la incertidumbre de la demanda, se modela la misma como un proceso de Poisson con una tasa que corresponde a la histórica. Por otro lado, para reflejar la caducidad de los artículos, se limita el nivel de inventario de cada artículo por un factor proporcional a la duración de cada uno.

El nivel de inventario, así como la disponibilidad o no del artículo sustituto, se modela como una cadena de Markov de tiempo continuo. Las probabilidades de transición, que se basan en procesos Poisson, se refieren a la demanda del artículo farmacéutico, así como al riesgo de desabastecimiento y recuperación del mismo.

El costo total se compone de: el costo de quiebre, el costo de compra de los artículos principales, así como el de los sustitutos, y, por último, del costo de almacenamiento.

El costo de desabastecimiento de cada artículo, así como el ranking de criticidad, se estima en base al Quality Adjusted Life Year (QALY) en caso de no disponer del medicamento o su sustituto, y de la disponibilidad de fuentes alternativas para el suministro; siendo QALY una medida de impacto de una enfermedad que se basa en calidad y cantidad de años vividos del paciente.

Para la resolución del problema, se propone un algoritmo heurístico en dos fases. En la primera, se construye una solución inicial a partir de parámetros como: cantidad de días de cobertura por artículo, cantidad de artículos críticos y porcentaje de la capacidad dedicado a estos. La capacidad “sobrante”, se distribuye para inventario de seguridad basado en la demanda diaria y volumen. El objetivo es utilizar más espacio para los artículos más grandes y con mayor demanda.

Luego de contar con la solución inicial, se comienza una búsqueda local en dos etapas, primero se retira el artículo que resulta en el mínimo aumento de la función objetivo por volumen que se libera, y luego se agrega el que resulta en la máxima disminución de la función objetivo por volumen que ocupa. El procedimiento continúa hasta que no se observa decrecimiento significativo en la función de costos.

Se presenta la estrategia de control de inventarios de dos centros médicos y se compara con la obtenida con el algoritmo propuesto. Como principales resultados, la cantidad de pedido siempre se acerca a la demanda de un día, el nivel de utilización de la capacidad de almacenamiento es del 100% mientras que en los casos reales se utiliza entre un 40% y 50%. Con respecto a los costos, tanto el de almacenamiento como el de pedido, son mayores para el algoritmo propuesto, pero el costo de quebrar es tanto menor que se alcanza un ahorro total del 28% y 29% según el centro médico con el cual se compare. Otra de las observaciones destacadas por los autores implica que se espera que los artículos con sustituto ocupen un lugar menor en el depósito, mientras que los críticos ocupen un lugar mayor. De todas maneras, se muestran casos específicos en los cuales estas dos observaciones pueden variar en consecuencia de ciertos datos de entrada, por ejemplo, el tamaño o el grado del factor de riesgo.

Otro trabajo que aplica un modelo de gestión de revisión continua, es el presentado en Attanayake et al. (2014), donde se utiliza la política antes mencionada (s, S) . El objetivo es minimizar el costo total, el cual está compuesto por el costo de capital invertido en inventario, costo de mantenimiento del inventario, costo de pedido y costos de transporte, variando los parámetros principales del modelo. Cabe destacar que, para reflejar la penalización por agotar el inventario disponible, se modela la situación donde se puede obtener el artículo faltante de hospitales “hermanos” o cercanos, con un costo de pedido y transporte significativamente mayor. Otras hipótesis consideradas son las siguientes:

Cadena de Suministro simple (proveedor-hospital) y de un único producto, demanda siguiendo una distribución de Poisson y tiempo de entrega según distribución uniforme.

Una vez calculada la función de costos, se procede a obtener los resultados para un período de tiempo considerado bajo la simulación de distintos conjuntos de valores de s y S . Para cada par de valores simulados, se toma el valor del mes ocho para comparación. Como generalidades, se destaca que, para un valor de s pequeño, el costo total es más alto dados los costos de agotar inventario teniendo que recurrir a otros hospitales. Por otro lado, altos valores de inventario implican elevados costos de oportunidad y de mantenimiento.

Se concluye que existen varios conjuntos de valores s , S los cuales implican costos totales mínimos. El hospital puede elegir estos parámetros también en base a otros objetivos estratégicos. Los autores destacan que aspectos contrapuestos como los quiebres y los costos de oportunidad y de almacenamiento aumentan o disminuyen el nivel de inventario.

Modelos de revisión periódica

En el contexto de la farmacia de un hospital, Vila-Parrish et al. (2008) integran la condición de los pacientes a su política de inventario. Se considera que el hospital puede mejorar sus costos y cumplimiento mediante el conocimiento de los pacientes para guiar sus decisiones de inventario y preparación de medicamentos. Esta política se compara con una en la que la demanda se determina a través datos históricos independientemente del estado de los pacientes. Se comparan los costos de escasez, vencimiento y almacenamiento. Para representar la demanda de artículos farmacéuticos como una función de la condición del paciente, se modela el problema como un proceso de decisiones de Markov. El espacio de estados de dicho proceso es multidimensional ya que se determina por tipos de pacientes y niveles de inventario. El mismo crece rápidamente como una función del número de tipos de pacientes y se vuelve un problema de gran escala, para el cual se utilizan técnicas de simulación para evaluar la caracterización de las políticas de inventario, cumpliendo el objetivo de minimizar el costo. Se concluye que con la política planteada se minimizan los costos, obteniendo mejores resultados.

Bijvank & Ifa Vis (2012) estudian el control de los inventarios ubicados en los diferentes puntos de uso de los hospitales. Plantean que el principal objetivo de un hospital es brindar un cuidado a la salud de alta calidad. Para ello, los suministros médicos son almacenados en muchas ubicaciones en un hospital y en grandes cantidades para evitar la falta de estos. El problema es que los hospitales tienen escasez de espacio disponible para almacenamiento.

El sistema de inventario en puntos de uso (POU) en hospitales distingue tres tipos de artículos: artículos perecederos (como medicamentos y sangre), artículos no desechables (por ejemplo, instrumentos) y artículos desechables (como guantes y agujas).

En este trabajo se estudia el manejo del inventario en diferentes puntos de uso de un hospital, como ser unidades de enfermería o centros de operación, con el objetivo de determinar el momento óptimo para pedir una nueva orden de reposición y el tamaño de la orden para cada artículo.

Desarrollaron dos tipos de modelos exactos de acuerdo a las principales características de los mismos: revisiones periódicas con cortos tiempos de entrega, capacidad de almacenamiento limitada y pérdida de ventas. Por un lado, el modelo de capacidad busca maximizar el nivel de servicio sujeto a restricciones de capacidad y, por otro lado, el modelo de servicio, minimiza la capacidad requerida sujeta a restricciones del nivel de servicio.

Primero, se estudia un sistema de inventario de un solo artículo para luego incorporarlo en un sistema multi-artículo. La demanda es considerada estocástica, y se utiliza una política de revisión periódica (P, s, Q) , comparándola con la (P, s, S) .

Proponen un modelo de decisiones de Markov para determinar el nivel de servicio (β) , basado en un espacio de estados correspondiente al nivel de inventario en mano, y proponen los siguientes modelos.

- Sistema de inventario para un artículo:

$$\text{Modelo de capacidad: } \max \{ \beta \mid s + Q \leq C \} \tag{I.11}$$

$$\text{Modelo de nivel de servicio: } \min \{ s + Q \mid \beta \geq \bar{\beta} \} \tag{I.12}$$

Siendo:

β : Fracción de la demanda satisfecha en un período de revisión.

$\bar{\beta}$: Nivel de servicio mínimo.

s : Nivel de reorden.

Q : Cantidad a ordenar.

C : Capacidad de almacenamiento para el artículo.

- Sistema de inventario multi-artículo:

En un hospital, la capacidad de almacenamiento es compartida por varios artículos. Por lo tanto, para cada punto de uso la limitación de capacidad también es compartida, para lo cual se utiliza un método de descomposición para insertar el modelo de un artículo a un sistema de inventario multi-artículo.

Utilizando la siguiente restricción plantean un algoritmo iterativo en el que determinan los valores óptimos para cada artículo:

$$\sum_k TC(k) \leq TC \tag{I.13}$$

Siendo:

TC : La capacidad total disponible para todos los artículos en un POU.

$TC(k)$: Capacidad total para el artículo k .

En el enfoque utilizado se genera una compensación ya que, al aumentar el nivel de servicio para un artículo, disminuye la capacidad disponible para otros.

El siguiente ratio es computarizado para cada artículo dentro de toda iteración:

$$\frac{\text{Incremento del nivel de servicio}}{\text{Capacidad extra asignada}} \quad (I.14)$$

Luego, se estudia el desempeño de las políticas (P, s, Q) y (P, s, S) basándose en los modelos anteriores con el objetivo de demostrar cómo pueden ser usados para incrementar el nivel de servicio.

Se concluye que, la política (P, s, S) utiliza más eficientemente la capacidad, mientras que en hospitales que usan códigos de barra, la política (P, s, Q) es más precisa. Además, ambas políticas son recomendadas si los niveles de inventario son monitoreados automáticamente, teniendo el mismo desempeño si el nivel de servicio es alto.

En el trabajo presentado en Onal et al. (2015) se plantea el Problema de Dimensionamiento del Lote Económico para Productos Perecederos (ELS-PI) con distintas formas de asignación. Estos autores concluyen que, si no se cuenta con restricciones de capacidad, entonces el problema de lote económico para productos perecederos puede ser resuelto en tiempo polinomial para cualquier tipo de asignación, mientras que, si se cuenta con restricciones de capacidad en la provisión de artículos, el problema se vuelve *NP-hard* bajo los mecanismos FEFO y LIFO.

El modelo considerado, el cual se basa en el introducido por Wagner & Whitin (1958), cuenta con un único proveedor cuyo tiempo de entrega es cero, suponiendo que agregar más proveedores no introduce cambios significativos (Onal, 2009). Otra variable importante para el análisis es el límite de capacidad de aprovisionamiento, el cual se considera variante o invariante a lo largo del tiempo.

Se prueba que, en términos de costos del minorista, la asignación FEFO es la más atractiva, mientras que LEFO, es la menos rentable. Desde punto de vista computacional, el orden de consumo de los artículos afecta la complejidad en la determinación del plan óptimo de requerimientos. Para obtener estas conclusiones, los autores utilizan una formulación matemática genérica para cualquier tipo de asignación.

Los parámetros considerados en el modelo son los siguientes:

D_t : Demanda en el período t

C_t : Capacidad de adquisición en el período t

S_t : Costo de ordenar en el período t

p_t : Costo unitario de adquisición en el período t

h_t : Costo de mantener el inventario de una unidad en el período t

c_{ti} : Costo variable de satisfacer una unidad de demanda en el período i con la adquisición en el período t

$$c_{ti} = p_t + \sum_{j=t}^{i-1} h_j \quad (I.15)$$

VARIABLES DE DECISIÓN:

x_{ti} : Cantidad a adquirir en el período t para satisfacer la demanda en el período i .

z_{ti} : 1 si el período t satisface parte de la demanda del período i ; 0 si no.

y_t : 1 si se adquieren en el período t ; 0 si no.

Problema ELS-PI:

$$\min \sum_{t=1}^{i-1} (S_t y_t + \sum_{i=t}^{v_t} c_{ti} x_{ti}) \quad (I.16)$$

Sujeto a:

$$\sum_{t:i \in F(t)} x_{ti} = D_i, \quad i = 1, \dots, T \quad (I.17)$$

$$\sum_{i=t}^{v_t} x_{ti} \leq C_t, \quad i = 1, \dots, T \quad (I.18)$$

$$x_{ti} \leq D_i z_{ti}, \quad t = 1, \dots, T; i = t, \dots, v_t \quad (I.19)$$

$$z_{ti} \leq y_t, \quad t = 1, \dots, T; i = t, \dots, v_t \quad (I.20)$$

$$z_{is} + z_{jt} \leq 1, \quad 1 \leq i \leq s \leq v_i; 1 \leq j \leq s < t \leq v_j \text{ con } j > i \quad (I.21)$$

$$x_{ti} \geq 0, \quad t = 1, \dots, T, i = t, \dots, v_t \quad (I.22)$$

$$z_{ti} \in \{0,1\}, \quad t = 1, \dots, T, i = t, \dots, v_t \quad (I.23)$$

$$y_t \in \{0,1\}, \quad t = 1, \dots, T \quad (I.24)$$

La función objetivo minimiza el costo total de adquisición y de mantenimiento del inventario.

La restricción (I.17), asegura que la demanda en el período i solo puede satisfacerse con cantidades adquiridas en los períodos en los cuales i está contenido en sus intervalos de suministro. La restricción (I.18) se refiere a la capacidad; la (I.19) asegura que un período t puede (parcialmente) cumplir con la demanda del período i sólo si $z_{ti} = 1$. Mientras que, la restricción (I.20) establece que un período puede satisfacer parcialmente la demanda en el período i sólo si se realiza una adquisición en ese período. La restricción (I.21) modela el

orden de consumo: para cualquier par de intervalos de adquisición $j > i$, si el período i satisface (parcialmente) el período s , entonces un período $j \leq s$ no puede (parcialmente) satisfacer la demanda en un período $t > s$. Finalmente, las restricciones (I.22), (I.23) y (I.24) establecen los dominios de las variables de decisión. Combinando las restricciones (I.20) y (I.24), se asegura que en la solución óptima las variables de configuración sean binarias.

En el análisis se utiliza el concepto de “plan de asignación”, que corresponde a cómo los artículos adquiridos se asignan a la demanda de los distintos períodos, así como el “plan de agregado” que está compuesto por las cantidades adquiridas en cada período y el nivel de inventario al final de cada uno. Por otro lado, también se utiliza el concepto de “intervalo de regeneración”, que es aquel donde en el último período de ese intervalo alcanza inventario nulo.

Para la resolución del problema, se desarrolla un algoritmo de programación dinámica para cada tipo de asignación que se basa en encontrar la solución de menor costo para distintas variaciones de sub-planes. Estos consisten en un intervalo de períodos independientes cuya demanda es satisfecha por las adquisiciones de un mismo período que además solo satisface a dicho intervalo. Cada algoritmo varía según las características de los sub-planes para cada tipo de asignación. Para la búsqueda de sub-planes factibles, se comienza con los intervalos más pequeños posibles hasta llegar al máximo posible (todo el período en un único sub-plan).

Modelos de revisión híbrida

Existen modelos que reúnen características tanto de la revisión continua como de la periódica.

Krajewski & Ritzman (2000) expresan que este tipo de sistema resulta atractivo cuando los costos de revisión y de hacer pedidos son significativos.

Guerrero et al. (2013) analizan el caso de un sistema de una cadena de tres eslabones (Farmacia Central - Farmacias de Hospitales - Unidades de cuidado), en el que se utiliza un sistema de abastecimiento opcional, con período de revisión de una semana, y ordenando en múltiples lotes de tamaño fijo definido por el proveedor. Este sistema consiste en revisar el nivel de inventario a intervalos fijos P y en caso de que este sea menor o igual al punto de reorden s , realizar una orden suficiente hasta alcanzar el nivel máximo de inventario establecido S .

Se propone modificar la estructura de la cadena a una de dos eslabones, en la que la Farmacia Central distribuya directamente a los Centros de Cuidado, reduciendo transportes, pero manteniendo el nivel de servicio.

Para demostrar la hipótesis de que el sistema de dos eslabones es más eficiente, se elabora un modelo matemático en el que las variables de decisión son los parámetros de punto de reorden y nivel máximo de Inventario en la Farmacia Central y los Centros de Cuidado:

S_{ij} : Nivel máximo de inventario del artículo i en el centro de cuidado j .

s_{ij} : Punto de reorden del artículo i a alcanzar en el centro de cuidado j .

S_{i0} : Nivel máximo de inventario del artículo i en la Farmacia Central.

s_{i0} : Punto de reorden del artículo i en la Farmacia Central.

El objetivo es minimizar el valor de inventario en mano para cada Centro de Cuidado y para la Farmacia Central:

$$\min Z = \sum_{i=1}^p c_i X_{i0} + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n c_i X_{ij} \quad (1.25)$$

Siendo:

$\overline{X_{i0}}$: El valor esperado de la variable aleatoria que representa el inventario en mano del artículo i en la Farmacia Central.

X_{ij} : El valor esperado de la variable aleatoria que representa el inventario en mano del artículo i en el centro de cuidado j .

c_i : El costo de almacenamiento del artículo i .

Se plantean restricciones en cuanto a:

- Capacidad de almacenamiento de la Farmacia central y los Centros de cuidado:

$$S_{i0} + b_i - 1 \leq m_{i0}, \forall i = \{1, \dots, p\} \quad (1.26)$$

$$S_{ij} \leq m_{ij}, \forall i = \{1, \dots, p\} \quad (1.27)$$

Siendo:

b_i : Número de unidades del artículo i contenidos en un lote.

m_{i0} : Capacidad máxima de almacenamiento del artículo i en la Farmacia Central.

m_{ij} : Capacidad máxima de almacenamiento del artículo i en el Centro de Cuidado j .

La restricción (1.26) además de considerar la capacidad de almacenamiento, toma en cuenta que la Farmacia Central está sujeta a una política de pedidos por lotes.

- Cumplimiento del nivel de servicio:

$$Pr\{D_{ij} \leq s_{ij} + 1\} \geq \alpha, \quad \forall i = \{1, \dots, p\}, \forall j = \{1, \dots, n\} \quad (1.28)$$

$$Pr\{D_{i0}^W + D_{i0}^E \leq s_{i0} + 1\} \geq \alpha, \quad \forall i = \{1, \dots, p\} \quad (1.29)$$

Siendo:

D_{ij} : Demanda acumulativa del artículo i en el Centro de Cuidado j en un período determinado.

D_{i0}^W : Pedidos semanales del artículo i desde los Centros de Cuidado a la Farmacia Central en los periodos de revisión.

D_{i0}^E : Demanda del artículo i en la Farmacia Central suministrada por un pedido de emergencia.

α : Nivel mínimo de servicio requerido en el Hospital.

Las ecuaciones (I.28) y (I.29) expresan que la posición mínima de inventario asegura el nivel de servicio deseado.

- Limitación del porcentaje de pedidos semanales realizados por la Farmacia Central:

$$\frac{\sum_{i=1}^p \sum_{k=0}^{s_{i0}} \pi_{ki0}}{p} \leq \gamma, \quad \forall i = \{1 \dots p\} \quad (I.30)$$

Siendo:

π_{ki0} : Probabilidad de tener k unidades del artículo i en la Farmacia Central.

γ : Máximo porcentaje esperado de productos pedidos por semana.

Para la resolución del problema se propone un algoritmo heurístico. Guerrero et al. (2013) concluyen que: optimizar independientemente cada Unidad de Cuidado corresponde a la misma solución que el problema en la cadena total, y que la solución óptima en cada Centro de Cuidado está dada por un sistema de revisión cuyo nivel máximo de inventario sea una unidad mayor que el punto de reorden: sistema $(s, s + 1)$.

Rosales et al. (2014) también estudian la implementación de una política híbrida, analizando su aplicación en un Hospital con Máquinas de Dispensación Automáticas (ADMs), lo cual por un lado facilita el control del nivel de inventario y la información brindada, pero aumenta las restricciones de espacio de almacenamiento.

Estos autores definen la política híbrida mediante el establecimiento de tres valores estacionarios: s y S como el punto de reorden y el valor máximo de una revisión periódica, y un valor crítico C asociado a una revisión continua. De forma tal que, si el nivel de inventario cae por debajo de este valor, se realiza un pedido “fuera del ciclo” de una cantidad fija Q que se determina como $S - s$.

Se busca definir para cada sistema cuáles son los mejores valores S, s y C de forma tal de que exista un balance entre las reposiciones periódicas y no planificadas.

La reposición periódica se da en intervalos $n\tau$, siendo τ el intervalo de tiempo del período y n un número natural. Se considera que la demanda se puede modelar estocásticamente como un proceso de Poisson y que existe un costo fijo de pedido K_p .

Los abastecimientos fuera de ciclo, al ser no planificados, interrumpen el normal funcionamiento del hospital, teniendo un costo asociado K_o tal que $K_o \gg K_p$, y un tiempo de entrega del proveedor L_o .

El modelo propuesto por Rosales et al. (2014) consiste en minimizar el costo promedio a largo plazo por unidad de tiempo:

$$\min K(s, S, C, Q) \quad (1.31)$$

En el caso de demanda estocástica, la función costos resulta no convexa, por lo que la búsqueda de los valores óptimos se realiza mediante un motor de búsqueda heurístico, que desarrolla un modelo de simulación de forma de minimizar el costo por unidad de tiempo, variando los valores de s, S, C, Q .

El motor de búsqueda simula utilizando el método de Nelder - Mead o Simplex cuesta abajo para hallar los valores de s y S , conociendo C y Q , y un método de sección dorada para hallar C y Q conociendo s y S .

Se analiza el beneficio de una política híbrida con respecto a una política periódica clásica exponiendo que, una de las principales ventajas es la disminución de inventario en el punto de uso sin sacrificar el nivel de servicio, lo cual es favorable cuando se tiene como restricción la capacidad de almacenamiento.

Los resultados obtenidos reflejan que la principal diferencia entre los distintos sistemas se da en el valor máximo de inventario S , ya que en una revisión periódica clásica dicho valor debe ser tal que "proteja" de quiebres de inventario durante todo el período.

Por otro lado, se observa que, el costo promedio por unidad de tiempo disminuye tanto en comparación con la utilización de una política periódica como de una continua y que, los beneficios máximos de una política híbrida se obtienen en un valor de τ medio.

Para el caso de demanda determinista, se define el modelo como:

$$\min K(s, S, C, Q) = \frac{1}{k\tau} (K_p + mK_o + \frac{H\lambda}{2} (T_p^2 + mT_o^2)) \quad (1.32)$$

Sujeto a:

$$k\tau = T_p + mT_o \quad (1.33)$$

Siendo:

T_p : El período de tiempo en el que se consume la cantidad $S - s$.

T_o : El período de tiempo en que se consume la cantidad Q .

λ : El nivel de demanda.

m : Número natural que representa cantidad de pedidos fuera de ciclo.

h : Intervalo de tiempo en el que se incurre en costos de almacenamiento.

p : Intervalo de tiempo en el que se incurre en costos de escasez.

H : Parámetro definido como $\frac{hp}{h+p}$

Se obtiene la solución mediante derivadas parciales, hallando que la solución óptima incluye: $T_p=T_o$ y $S = C + Q$.

Con estas condiciones se calcula el valor m del número de pedidos fuera de ciclo dentro de cada período, destacando que el mismo incrementa con el valor de τ y es independiente de K_p (si $K_p \ll K_o$).

Se concluye que, la combinación de un modelo de pedidos periódicos planificados con un modelo reactivo de abastecimientos frente a una revisión continua provee una disminución de costos.

Conclusiones

En este documento se buscó dar un acercamiento teórico a la temática de Gestión de Inventario presentando, según nuestro análisis, las principales definiciones y modelos de revisión asociados. Luego, se describieron las particularidades de esta problemática en el ámbito de la salud.

Se observó un aumento en los estudios de Gestión de Inventario debido a la creciente concientización acerca de su influencia en los costos y el nivel de servicio brindado al cliente, convirtiéndose actualmente en un componente fundamental de la Gestión de la Cadena de Suministro.

Esto se ve reflejado en la evolución de los modelos matemáticos desarrollados, cada vez más realistas y complejos, ajustándose a las distintas realidades existentes.

Por otro lado, se profundizó en las particularidades de la Gestión de Inventario en Instituciones de Salud, destacándose la importancia social que conlleva la misma, teniendo como objetivo primordial brindar un servicio de calidad a los pacientes.

Se realizó una revisión bibliográfica enfocada en los últimos trabajos sobre Gestión de Inventario de artículos farmacéuticos o de características similares.

Dichos trabajos se desarrollaron en distintos modelos de Cadena de Suministro como: sistema de dos eslabones, con una farmacia central abasteciendo a n centros de cuidado; una compañía farmacéutica abasteciendo a un hospital. Trabajando mayoritariamente con sistemas multi-artículos.

Se ve reflejada la importancia de una adecuada selección del modelo de revisión de inventario a utilizar (periódico, continuo), así como de los parámetros involucrados, y la contribución de las herramientas matemáticas para el cálculo los mismos, de manera de minimizar los costos manteniendo el nivel de servicio deseado.

En términos generales, en la mayor parte de los modelos matemáticos utilizados, la función objetivo consiste en minimizar los costos. En otros trabajos, se busca maximizar el nivel de

servicio, minimizar el inventario en mano o minimizar la capacidad utilizada. Dentro de los costos considerados, los más recurrentes son los costos de ordenar, costo de almacenar, costo del producto, costo de obsolescencia, costo de quiebres de inventario, costo de transporte y costos financieros. En lo que respecta a adquisiciones excepcionales, por ejemplo fuera del período o adquisiciones de artículos sustitutos, se consideran costos mayores.

A su vez, las restricciones más utilizadas corresponden a: cumplimiento del nivel de servicio, capacidad de almacenamiento, políticas de abastecimiento (por ejemplo, lotes mínimos) y las características de los insumos médicos (por ejemplo, son perecederos, requieren un manejo y almacenamiento particular).

En cuanto a los modelos de demanda utilizados, se puede observar que en reiterados casos se considera la misma una variable aleatoria modelada con un proceso de Poisson.

Con respecto a las técnicas de solución empleadas, los autores utilizan principalmente algoritmos heurísticos para la obtención de resultados aproximados de los modelos matemáticos desarrollados. Esto se debe a que la mayor parte de los problemas son *NP hard*.

Es de destacar la importancia que dan los distintos autores al análisis de sensibilidad del modelo, y cómo varía la solución al cambiar los valores de los distintos parámetros.

Un planteo que consideramos importante es el de tener una visión integrada de la Cadena de Suministro en Instituciones de Salud, logrando incorporar al paciente mediante un efectivo flujo de información, ya que es el principal cliente de la Cadena y es por quien se realizan todos los esfuerzos.

Anexo II: Validaciones del modelo

Se describen las validaciones unitarias por restricción del modelo matemático.

Las restricciones asociadas a la definición nivel de inventario, al cumplimiento del inventario de seguridad y definición del período inicial se verifican en todas las validaciones.

Para alguna de las validaciones la solución obtenida se expresa mediante diagramas en los que se reflejan las compras con sus períodos de consumo asignados a cada proveedor, el nivel de inventario y el cumplimiento de la demanda.

A continuación (Figura II.1) se presentan las referencias de los diagramas considerando un insumo i , T períodos y dos proveedores (Proveedor 1 y Proveedor 2).

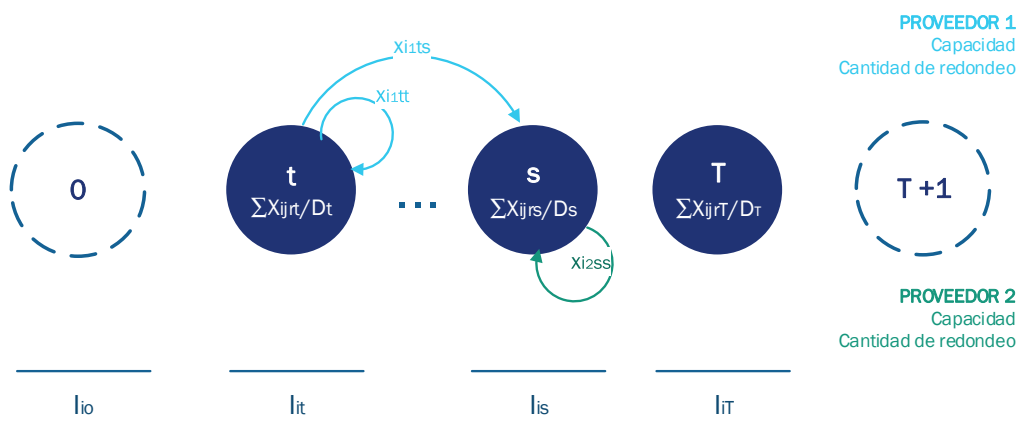


Figura II.1: Diagrama de referencia para validaciones

Orden de consumo

Se parte de un modelo inicial bajo el supuesto de que el orden de consumo FEFO estaba implícito.

Objetivo: Verificar que el orden de consumo sigue el criterio FEFO.

Solución obtenida y análisis (Figura II.2):

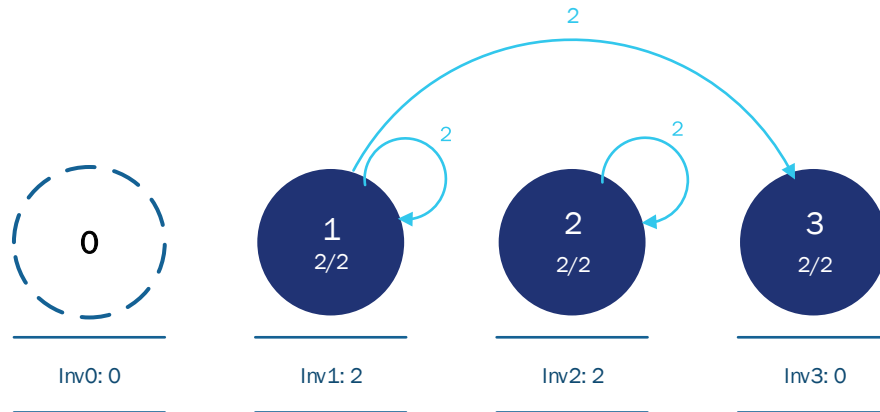


Figura II.2: Solución obtenida validación orden de consumo

Se observa que a pesar de que se consideró que el orden de consumo FEFO era una restricción implícita en el modelo, el consumo en el segundo período no cumple dicha hipótesis, consumiendo insumos con vencimiento posterior.

Es así que se deben agregar restricciones que aseguren el orden de consumo establecido. Para esto, tomando como base lo expresado en Onal et al. (2015) se define la variable auxiliar z y las restricciones de consumo FEFO.

Se realizaron pruebas con estas nuevas restricciones, en las cuales se verifica el orden de consumo esperado.

Cantidad de Redondeo y Consumo

Objetivo: Verificar cumplimiento de que las compras sean múltiplo de la cantidad de redondeo del proveedor.

Solución obtenida y análisis: Como caso límite, se considera la cantidad de redondeo del proveedor mayor que la demanda de todos los períodos. Al no poder asignar la totalidad de insumos a un período de consumo, la solución resulta no factible.

Mediante esta validación se detectó la necesidad de contar con un período auxiliar que actúe como período de consumo de unidades sin asignar. Para esto, se crea un período al final del horizonte de planificación con demanda infinita. Para el mismo no aplican las restricciones de nivel de servicio ni inventario de seguridad y tampoco se contabiliza en la función objetivo

Se realizaron nuevas pruebas con esta inclusión, verificando tanto la asignación de consumo como el cumplimiento de la restricción de cantidad de redondeo.

Cantidad de quiebres

Objetivo: Verificar la correcta definición de la cantidad de quiebres de inventario y analizar los posibles casos en los que la solución óptima incluye la decisión de quebrar.

Solución obtenida y análisis (Figura II.3):

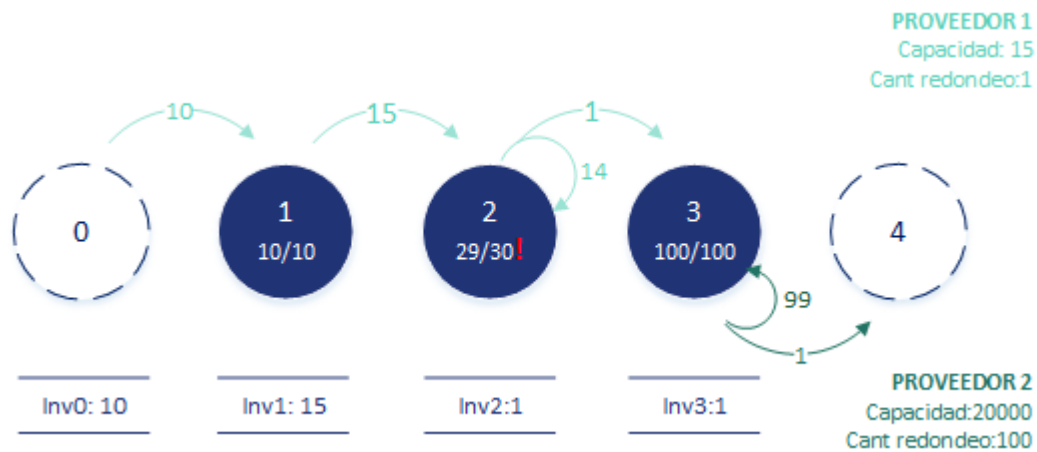


Figura II.3: Solución obtenida validación cantidad de quiebres

Considerando un bajo costo de quiebre y un alto costo de mantenimiento de inventario, se observa que la solución incluye un quiebre en el segundo período de acuerdo a lo esperado.

Esto se debe a la alta cantidad de redondeo del *Proveedor 2* y la baja capacidad del *Proveedor 1*. Es decir, implica un mayor costo comprarle al proveedor de mayor capacidad y satisfacer la demanda que seleccionar al *Proveedor 1* teniendo faltantes.

Se observa que siempre que es posible se realizan compras al *Proveedor 1* por el máximo de su capacidad, a excepción del último período en el que sólo es posible alcanzar el nivel de servicio deseado seleccionando al proveedor de mayor costo.

Se verifica la correcta definición de cantidad de quiebres de inventario, así como la posibilidad de que la solución óptima incluya no satisfacer la totalidad de la demanda.

Nivel de servicio

Objetivo: Verificar el cumplimiento del nivel de servicio bajo situaciones límites de capacidad de proveedor y cantidad de redondeo. Contrastar con la validación anterior, en la que se permite quebrar.

Solución obtenida y análisis (Figura II.4):

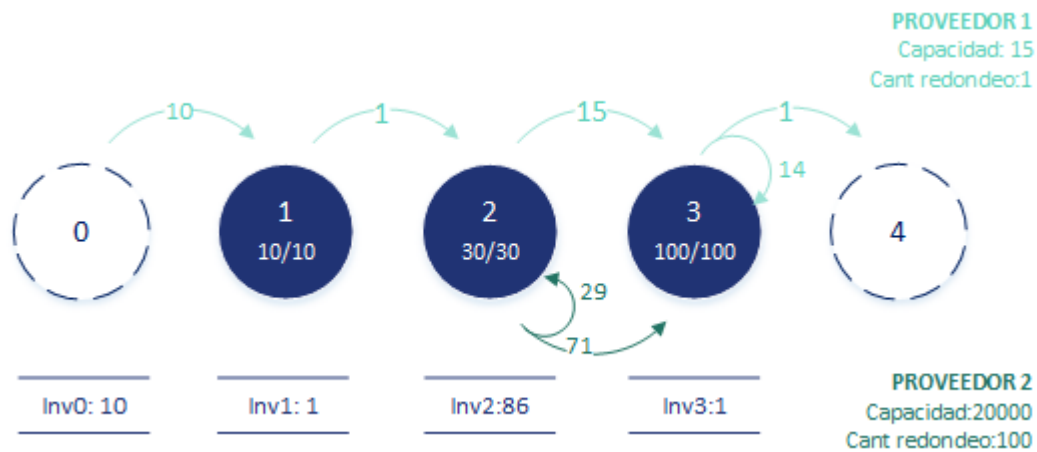


Figura II.4: Solución obtenida validación nivel de servicio

Estableciendo un nivel de servicio del 100% se deben realizar compras al proveedor de mayor capacidad y precio en el segundo período. Esto implica que el costo sea mayor con respecto a la validación anterior, en la que se permiten quiebres de inventario, \$17.461 y \$14.910 respectivamente.

Se verifica la restricción de cumplimiento del nivel de servicio y la de capacidad máxima del proveedor.

Capacidad de proveedores

Objetivo: Verificar que las cantidades adquiridas no superan la capacidad de los proveedores.

Solución obtenida y análisis: Considerando la demanda en cierto período mayor a la capacidad del proveedor de menor costo, se observa que en dicho período se adquiere al proveedor más caro para poder cumplir con el nivel de servicio y respetar la capacidad de los proveedores.

Se verifica entonces la restricción de capacidad de proveedores.

Capacidad de almacenamiento

Objetivo: Verificar el cumplimiento de la restricción de capacidad de almacenamiento y analizar variaciones en el valor óptimo al cambiar la capacidad disponible.

Solución obtenida y análisis: Se toman dos casos de prueba variando la capacidad de almacenamiento, siendo la misma $1,25m^3$ en el primer caso y $10m^3$ en el segundo, y considerando un nivel de servicio requerido del 50%.

Según lo esperado, en ambos casos se verifica que no se supera la capacidad de almacenamiento disponible.

La solución obtenida refleja como al aumentar la capacidad de almacenamiento, se obtienen ahorros, disminuyendo el valor objetivo un 38,6%. Esto se debe a que la baja capacidad de

almacenamiento implica una alta cantidad de quiebres, la cual en este caso es posible por el bajo nivel de servicio solicitado.

Se obtienen los siguientes resultados en la **Tabla II.1:**

	Capacidad Alta	Capacidad Baja
Capacidad máxima permitida	10	1,25
Valor objetivo	\$39.880	\$55.280
Capacidad utilizada período 1	0,625	0,625
Capacidad utilizada período 2	1,04	0,54
Capacidad utilizada período 3	1,253	0,813
Cantidad de quiebres	1	17

Tabla II.1: Análisis validación capacidad de almacenamiento

Presupuesto

Objetivo: Verificar que los costos de adquisición e inventario no superen el presupuesto asignado.

Solución obtenida y análisis (Figura II.5):

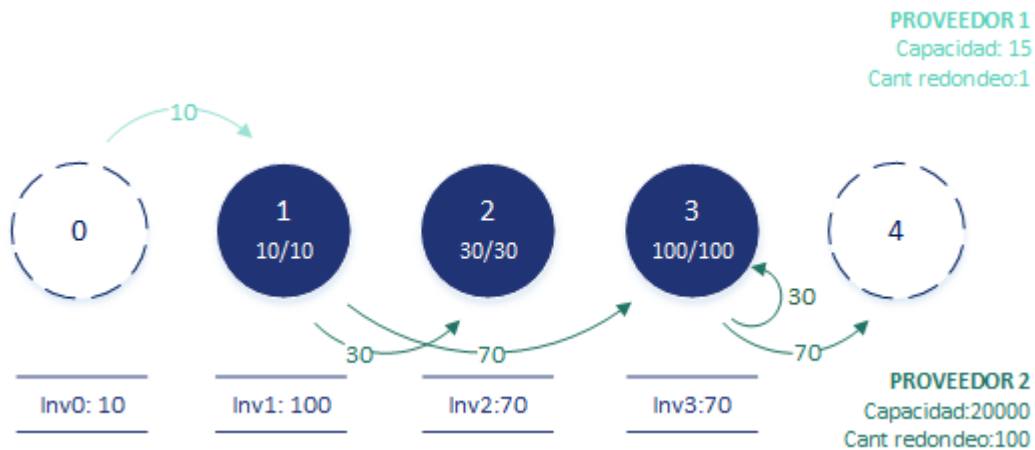


Figura II.5: Solución obtenida validación presupuesto

Considerando un presupuesto mínimo de \$4.000 en el segundo período y un nivel de servicio del 100%, se verifica el cumplimiento de la restricción presupuestal.

De acuerdo a lo esperado por el bajo presupuesto del segundo período, para poder cumplir con el nivel de servicio, se anticipan compras, incurriendo en costos mayores de almacenamiento y compra, ya que se realizan adquisiciones al proveedor de mayor costo.

Se verifica tanto la restricción de límites de presupuesto como el cumplimiento del nivel de servicio del 100% en todos los períodos, sin necesidad de realizar compras en el segundo período.

Obsolescencia

Objetivo: Verificar que se cumpla la restricción de obsolescencia.

Solución obtenida y análisis (Figura II.6):

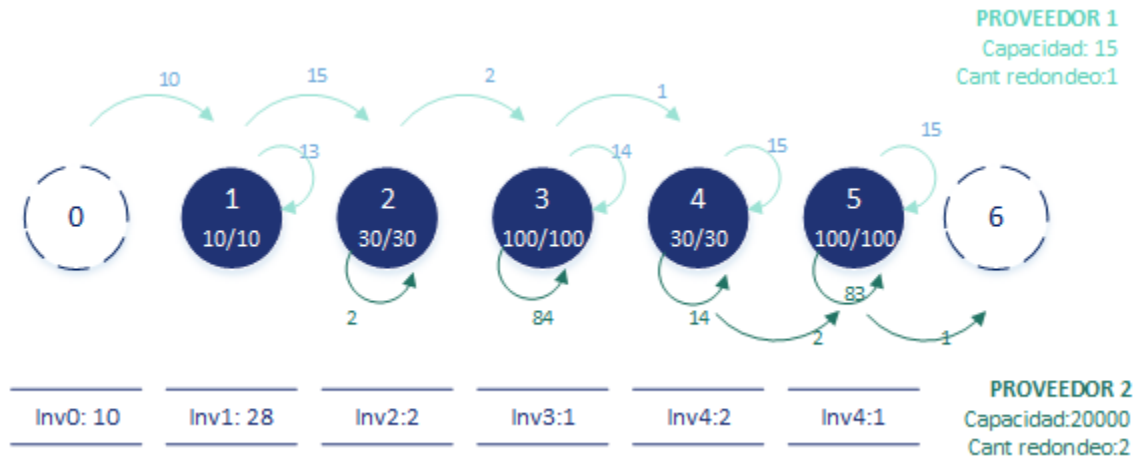


Figura II.6: Solución obtenida validación obsolescencia

Para validar esta restricción se realizaron los siguientes casos de prueba, considerando en ambos una vida útil de dos períodos.

En el primer caso, se considera una alta cantidad de redondeo de manera de tener que adquirir insumos para consumir en el límite del vencimiento. Se observa que se adquieren insumos para consumir, como máximo, en el período de vencimiento, lo cual cumple con la restricción.

Mientras que, para el segundo caso se considera una cantidad de redondeo mayor, no existiendo solución factible. Es así que, en el caso de que la cantidad de redondeo del proveedor sea mayor a la suma de la demanda hasta el período de vencimiento, no existe solución factible ya que la restricción no permite obsolescencia de los insumos.

Por lo tanto, se verifican las restricciones de obsolescencia y cantidad de redondeo.

Anexo III: Módulo para la estimación de la demanda por insumo

A partir de las intervenciones que se realizan por período y de los insumos utilizados en cada intervención se busca estimar la demanda por insumo de cada período.

Para lograrlo se desarrolla un *Módulo para la estimación de la demanda por insumo* descrito a continuación (Figura III.1).

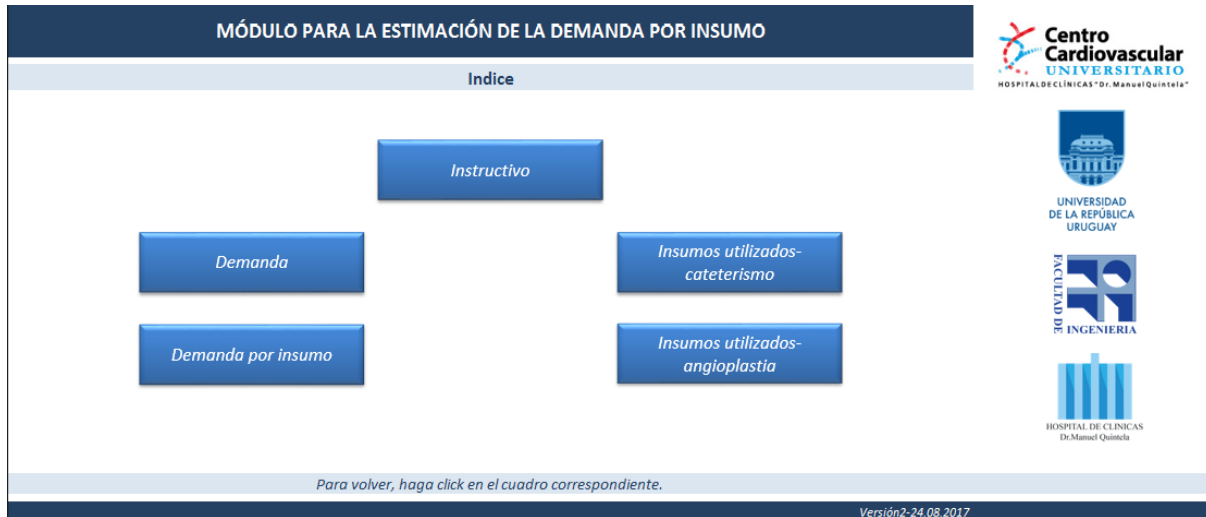


Figura III.1: Módulo para la estimación de la demanda por insumo

El módulo consiste en las siguientes secciones:

- Los datos históricos de intervenciones mensuales de 2015 y 2016.
- Los insumos utilizados en las intervenciones de cateterismo y angioplastia obtenidos mediante la aplicación de la técnica de “Juicio de Expertos” a partir de tres fuentes: Médicos especialistas, Dirección Administrativa del CCVU y personal de Economato.
- El resultado de demanda por insumo, mostrada en la sección de *Demanda por insumo* como se expone a continuación (Figura III.2).

Volver al menú

Insumo	Descripción insumo	Suma de	Suma de	Suma de	Suma de	Suma de	Suma de	Suma de	Suma de
		Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5	Período 6	Período 7	Período 8
3-10-11-28	Conector Alta Presión Largo	378	427	499	469	413	495	443	518
3-10-16-06	Rampa "Manifold" desc. de 2 vías	162	183	214	201	177	212	190	222
3-10-16-12	Llave Rotatoria Hemostática c/Válvula Ipsilon	162	183	214	201	177	212	190	222
3-10-17-8	Trasductor Descartable con Intraflow	162	183	214	201	177	212	190	222
3-6-10-21	Jeringa Descartable Pico Luer 10cc	324	366	428	402	354	424	380	444
3-6-10-32	Jeringa de Insuflación p/ Angioplastia	88	102	118	120	93	120	106	121
3-8-12-238	Balón Angioplastia Coronaria	130	151	174	177	137	177	156	179
3-8-12-381	Cateter Angiográfico Coronario	123	143	165	168	130	168	148	169
3-8-12-485	Guía Angioplastia Coronaria	122	141	163	166	128	166	146	167
3-8-13-07	Guía Diagnóstico Teflonada Corta	162	183	214	201	177	212	190	222
3-8-13-36	Guía Hidrofílica Corta	162	183	214	201	177	212	190	222
3-8-21-02	Torque para Guía de Angioplastia	162	183	214	201	177	212	190	222
3-8-12-442	Balón Contrapulsación	2,51	2,91	3,37	3,43	2,66	3,43	3,03	3,46
3-8-12-441	Cateter Aspiración de Coagulación	44	51	59	60	47	60	53	61
3-8-12-207	Conector Alta Presión Corto	162	183	214	201	177	212	190	222
3-8-13-94	Guía Diagnóstico Teflonada Larga	54	61	71	67	59	71	63	74
3-8-13-3	Guía Hidrofílica Larga	162	183	214	201	177	212	190	222
3-8-15-39	Introduccion Radial	139	157	183	172	152	182	163	190
3-8-15-04	Introduccion Femoral Corto	46	52	61	57	51	61	54	63
3-8-15-21	Introduccion Femoral Largo-Vaina	23	26	31	29	25	30	27	32
3-6-10-52	Jeringa Bomba 150CC	23	26	31	29	25	30	27	32
Total general		2793	3170	3699	3527	3033	3682	3291	3829

Figura III.2: Demanda por insumo

Ahora bien, si se modifica la cantidad de intervenciones o los insumos necesarios para realizarlas, esta herramienta permite hallar la nueva demanda por insumo en cada período.

Este archivo se encuentra adjunto en el CD en la siguiente ubicación: E:\1. Informe\1.2. Anexos\Anexo III Módulo para la estimación de demanda por insumo.xlsx.

Anexo IV: Licitaciones de la U.C.A.

Los insumos considerados en el Proyecto son los adquiridos a través de la Unidad de Compras del Hospital de Clínicas, principalmente, mediante Licitaciones de la U.C.A..

Para obtener los datos necesarios de cada insumo se estudiaron las Licitaciones utilizadas para su adquisición, se identificaron los insumos por el número definido en estas y por el código interno asignado en el CCVU. Para cada insumo y proveedor se especifica el precio, la cantidad de redondeo y la capacidad, datos necesarios para hallar la solución.

Esta información se encuentra en la planilla electrónica ubicada en el CD en la siguiente ubicación *E:\1. Informe \1.2. Anexos\Anexo IV Licitaciones U.C.A.xlsx*.

Anexo V: Módulo para el ingreso de datos

En este Anexo se presenta el módulo desarrollado para generar el archivo de datos que se utiliza en el Software de resolución del problema matemático, mediante el ingreso de los distintos parámetros del problema.



Figura V.1: Módulo para el ingreso de datos

Debido al volumen de datos manejados, es de suma utilidad una herramienta que facilite el ingreso de datos y su conversión al lenguaje adecuado para el Software de resolución.

El módulo generado consiste en cuatro secciones, como se observa en la [Figura V.1](#), correspondientes a:

- Los datos de los insumos (clasificación, precio, vida útil, etc.).
- La demanda por insumo por período.
- Otros parámetros necesarios como la capacidad de almacenamiento y el presupuesto.
- El conversor de los datos al lenguaje correspondiente.

Esta herramienta fue utilizada también en los análisis de sensibilidad, en los que se realizaron variaciones en los distintos parámetros.

El módulo se encuentra adjunto en el CD en la siguiente ubicación: *E:\1. Informe\1.2. Anexos\Anexo V Módulo para el ingreso de datos.xlsm*.

Anexo VI: Módulo para el análisis de resultados

Para el Análisis de los resultados obtenidos, tanto del problema inicial como de los análisis de sensibilidad, se desarrolla la herramienta presentada a continuación.

MÓDULO PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Índice		
<i>Instructivo</i>	<i>Resumen costo por período</i>	<i>Gráfica de inventario</i>
<i>Hoja de "Insumos"</i>	<i>Plan de compras</i>	<i>Capacidad de almacenamiento</i>
<i>Archivo OUT</i>	<i>Compras y costos</i>	<i>Compras y consumos - gráfica</i>
<i>Demanda</i>	<i>Dinámica del inventario y verificación</i>	<i>Compras por insumo - gráfica</i>
	<i>Demanda y quiebres</i>	<i>Secuencia de consumo</i>

Para volver, haga click en el cuadro correspondiente.

Versión 7-30.07.2017

Figura VI.1: Módulo para el análisis de resultados

En este módulo se ingresa la salida obtenida de la resolución del problema matemático a través del Software CPLEX, los datos utilizados y la demanda. A partir del índice (Figura VI.1) se muestra de forma amigable:

- El plan de compras sugerido, permitiendo filtrar por proveedor, período y/o insumo.
- El resultado respecto a costos: valor óptimo y detalle de costos por período.
- La capacidad de almacenamiento utilizado.
- La secuencia de consumos.
- La cantidad de quiebres.
- Comparación por insumo de las compras realizadas con el consumo en cada período.
- Comparación del inventario de cada período con el inventario de seguridad.

Además la herramienta se utiliza para los análisis de sensibilidad.

Este módulo se encuentra adjunto en el CD en la siguiente ubicación: *E:\1. Informe\1.2. Anexos\Anexo VI Módulo para el análisis de resultados.xlsm*.