



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

PROPUESTA DE UNA POLÍTICA DE INVENTARIO BASADA EN LA OPTIMIZACIÓN
SIMULACIÓN PARA EL SERVICIO DE ATENCIÓN PREHOSPITALARIA: CASO UNAM

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. LUIS ENRIQUE VÁZQUEZ MONTES

TUTORA PRINCIPAL
DRA. ESTHER SEGURA PÉREZ
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX, OCTUBRE 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Balderas Cañas Patricia
Secretario: M.I. Soler Anguiano Francisca Irene
Vocal: Dra. Segura Pérez Esther
1^{er}. Suplente: Dra. Rodríguez Vázquez Katya
2^{d o}. Suplente: Dra. Huerta Barrientos Aida

CDMX, Ciudad Universitaria, Posgrado de Ingeniería

TUTOR DE TESIS:

Dra. Esther Segura Pérez

FIRMA

Dedicatorias

A dios por colocar en mi camino todo lo necesario para culminar este proyecto académico

A mi madre por darme el regalo de la vida, por ser mi apoyo, mi motor, por brindarme todo tu amor, por haberme guiado hasta aquí y por ser la persona que siempre amaré.

A mi padre y mis hermanos por darme el cariño y el amor que siempre necesito.

A mi familia por brindarme los mejores momentos de mi vida.

A Aarón, Axel, Kevin y Eduardo por regalarme su invaluable amistad.

A todos los miembros de la Sociedad Universitaria de Ixtapaluca por darme la tranquilidad de saber que existen personas que sueñan con un México mejor "Arte, Ciencia Y Cultura por un pensamiento sin censura".

A Michelle por ser la solución óptima de mi vida.

Agradecimientos

A la Dra. Esther Segura por guiarme en el camino de la investigación, brindarme su apoyo incondicional, regalarme sus sabios consejos y compartir una maravillosa amistad.

A la M. I. Francis Soler, a la Dra. Katya Rodríguez, a la Dra. Aida Huerta y a la Dra. Patricia Balderas, no sólo por su valioso apoyo con sus comentarios para el mejoramiento de mi tesis, también por brindarme los conocimientos y habilidades que hicieron posible este trabajo de investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo otorgado para realizar mis estudios de maestría.

Al departamento de Investigación de Operaciones e Ingeniería Industrial por darme la oportunidad de seguir preparándome y realizar mis estudios maestría.

A la Lic. Maricela Serrano por preocuparse de los estudiantes de México siendo precursora del programa que me apoyó para transportarme a la universidad.

Al Paramédico Fernando Espinoza Roldán por Proporcionarme información especializada, así como compartir su expertis y conocimientos.

A mi Alma Mater, la máxima casa de estudios del país la UNAM por acogerme como uno más de sus hijos y hacerme sentir orgulloso de decir "POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Contents

Capítulo 1 Introducción.....	8
1.1 Resumen.....	8
1.2 Abstract	8
1.3 Introducción	8
1.4 Problemática	10
1.5 Justificación	10
1.6 Objetivos	10
1.7 Hipótesis.....	11
Capítulo 2. Marco conceptual	12
2.1 Metodología de la investigación de operaciones.....	12
2.1.1. Pasos a seguir de la metodología	12
2.2 Teoría de Inventarios	13
2.2.1 Concepto de inventario.....	13
2.2.2 Demanda en el inventario	14
2.2.3 Costos de inventario.....	14
2.2.4 Modelos determinísticos con un solo artículo	15
2.2.5 Cantidad económica a ordenar (EOQ)	18
2.2.6 Modelos de artículos múltiples.....	19
2.2.7 Decisiones de tiempo	20
2.2.8. Nivel de servicio y stock de seguridad	20
2.3 Análisis ABC-VED	21
2.3.1 Análisis ABC.....	21
2.3.2 Análisis VED	21
2.3.3 Análisis ABC-VED	22
2.4 Pronósticos.....	22
2.4.1 Vectores Autoregresivos	22
2.4.2 ARIMA.....	22
2.4.3 Modelo Holt Winters.....	23
2.5 Optimización	24
2.5.1 Clasificación de los modelos de optimización.....	24
2.5.2 Modelos no lineales	25

2.5.3 Métodos heurísticos.....	26
2.6 Simulación	29
2.6.1 Metodología de simulación.....	30
Capítulo 3 Metodología de solución	32
3.1 Planteamiento del problema	32
3.2 Observar el sistema.....	32
3.2.1 Costos de inventario.....	32
3.2.2 Estimación de la demanda	33
3.2.3 Nivel de servicio y stock de seguridad	33
3.3 Formular un modelo matemático del problema.....	34
3.4 Derivar las soluciones del modelo.....	35
3.5 Pruebas del modelo y de las soluciones.....	36
3.6 Seleccionar una opción adecuada.....	36
3.7 Presentar los resultados y la conclusión del estudio a la empresa.....	36
3.8 Poner en marcha y evaluar recomendaciones:.....	36
3.9 Metodología representada en diagrama	37
Capítulo 4 Implementación de la metodología.....	38
4.1 Observar el sistema.....	38
4.1.1 Costos	38
4.1.2 Estimación de la demanda	39
4.2 Análisis ABC-VED	55
4.3 Formulación del modelo matemático	58
4.3.1 Definición de la función objetivo	58
4.3.2 Definición de las restricciones.....	60
4.3.3 Parámetros.....	61
4.3.4 Variables de decisión.....	61
4.4 Derivar las soluciones del modelo.....	61
4.4.1 Algoritmos	61
4.4.2 Solución del modelo.....	66
4.4.3 Diseño de experimentos	68
4.5 Pruebas del modelo y de las soluciones.....	71
4.5.1 Colocación de objetivos y el plan del proyecto global	71

4.5.2 Conceptualización del modelo	71
4.5.3 Recolección y procesamiento de datos.....	73
4.5.4 Construcción del modelo:	75
4.5.5 Diseño de experimentos	80
4.5.6 Producción de corridas de simulación y análisis	80
Capítulo 5 Resultados y conclusiones	83
Capítulo 6 Referencias.....	87
ANEXOS	89
Anexo 1.....	89
Anexo 2.....	110

Capítulo 1 Introducción

1.1 Resumen

En esta tesis se presenta una política para la administración del inventario para los insumos y artículos médicos (IAM) que se requieren en el departamento de servicio de atención prehospitalaria (SAPH) en el campus de CU de la UNAM, valiéndose de dos herramientas fundamentales en la investigación de operaciones, como son la simulación y la optimización. La metodología de solución se organiza en tres etapas: en la primera etapa se desarrolla el análisis de datos, donde se establece un algoritmo para determinar la demanda de 42 IAM, se estima el consumo de la demanda de IAM con los métodos de pronósticos de vectores autoregresivos, Holt Winters y ARIMAs, se hace un análisis de clasificación de inventarios ABC-VED para determinar el nivel de servicio, el cual se puede establecer a través de un enfoque de optimización y un enfoque administrativo, en este trabajo se emplea el enfoque administrativo de acuerdo al parámetro α que corresponde a cada IAM. En la segunda etapa, se estructura un modelo de optimización no lineal con variables de decisión enteras, donde la función objetivo es minimizar los costos del inventario, resolviéndose con el método de Algoritmos Genéticos. Por último, en la tercer etapa se emplea la simulación para evaluar la política del inventario funcione adecuadamente.

1.2 Abstract

This thesis presents a policy for the administration of inventory for medical supplies and articles (MSA) that are required in the prehospital care service department (PCSD) at the CU campus of the UNAM, using two fundamental tools in Operations research, such as simulation and optimization. The solution methodology is organized in three stages: in the first stage the data analysis is developed, where an algorithm is established to determine the demand of 42 MSA, the consumption of MSA demand is estimated with the methods of vector autoregressive (VAR), Holt Winters and ARIMAs, an ABC-VED inventory classification analysis is done to determine the level of service, which can be established through an optimization approach and an administrative approach, in this work the administrative approach is used according to the parameter α that corresponds to each MSA. In the second stage, a non-linear optimization model with integer decision variables is structured, where the objective function is to minimize the inventory costs, resolving with the Genetic Algorithms method. Finally, in the third stage, the simulation is used to evaluate that the inventory policy to work properly.

1.3 Introducción

Los inventarios como parte funcional de la cadena de suministro permiten controlar la incertidumbre de la demanda con el fin de satisfacerla, guardando por algún tiempo determinado, cierta cantidad de producto. Según la revista T21 en su ejemplar de enero de 2013, aproximadamente el 23% de los costos logísticos son representados por el costo de almacenamiento, mientras que el 22% son representados por el manejo de inventario, por lo que contar con una buena administración del inventario es fundamental para el desarrollo de cualquier organización, especialmente para aquellas en las que es muy caro tener artículos faltantes como es el caso del sector salud, ya que hay artículos

o insumos médicos que son indispensables para mantener la salud o en dado caso la vida del paciente.

En la actualidad el control de inventarios se ubica en organizaciones que, generalmente, presentan entre sus características: el manejo de una cantidad considerable de artículos cuya demanda tiene un comportamiento complejo, así como los costos que intervienen en la administración del inventario y, por lo que hace indispensable el control efectivo de costos y calidad. El nivel de servicio y el stock de seguridad son políticas generales para la optimización de inventarios y son a su vez la representación de la buena administración de la organización.

En el área de la salud, se han hecho múltiples investigaciones referidas a la cadena de suministro y cómo es posible mejorar el flujo de información entre cada una de los subsistemas que lo integran, y que en consecuencia, permitan la reducción de costos, el aumento de la productividad y la eficiencia de los procesos. Se han empleado algunas técnicas para la solución a las problemáticas existentes en la cadena de suministro de la salud, algunas de ellas son Just in time, Análisis de Outsourcing, simulación, aplicación de Técnicas multi-objetivo (Rossetti M. y Liu Y., 2008).

De la misma manera se realizan estudios de coordinación entre proveedor y cliente para administrar la cadena de suministro con Identificación de radio frecuencia (RFID) por sus siglas en inglés, teniendo como política de inventario un cierto nivel de productos para el hospital. (Bendavid Y.&Boeck H., 2011).

Como parte de lo que se ha realizado en materia de simulación y optimización en el área de cuidado de la salud específicamente en el área de emergencias, (Ahmed M.&Alkhamis T., 2009) determina la cantidad óptima de personal que se necesita en dicha área que maximice la atención al paciente (patient throughput). También en el área de emergencias pero con un enfoque de simulación basado en agentes, se diseña un sistema de apoyo a las decisiones que mejora las operaciones dentro del área de emergencias a través de la encontrar la configuración óptima de personal (Cabrera, E.,2012). Para el caso de SAPH (Servicio de Atención PreHospitalaria), la optimización del inventario requiere el conocimiento de un concepto tangible como es la demanda, ésta en la realidad tiene un comportamiento complejo, ya que está determinada por los accidentes que ocurren dentro de una población que, si bien varía dentro de un intervalo, se comporta de manera aleatoria. Esta demanda no sólo está determinada por el número de accidentes que ocurren en un determinado intervalo de tiempo, también se ve afectada por la gravedad del accidente y el tipo de accidente, determinando así el número de artículos a ocupar.

Una política de inventario tiene que contemplar 3 factores fundamentales que describen ampliamente el funcionamiento del inventario, estos factores responden a las preguntas: ¿Cuánto pedir?, ¿Cuándo pedir? Y con ¿Qué nivel de servicio se actuará? Adicionalmente, el hecho de estar hablando de un inventario que está en función del tiempo, es menester establecer el sistema por el que se describirá cada uno de los factores del inventario, estos pueden ser, sistema de revisión continua y sistema de revisión periódica.

Un enfoque de optimización-simulación permite considerar todas las características del problema de administración de inventarios, ya que por una parte resolviendo el modelo matemático podemos obtener una buena solución sujeto a ciertas restricciones de presupuesto y stock de seguridad, y, con la simulación se puede evaluar cada una de las soluciones, permitiendo tener una solución más robusta.

La estructura de la tesis es como sigue: el capítulo uno se establece una introducción al tema planteado en el trabajo así como la problemática, justificación, objetivos e hipótesis. En el capítulo dos se establece un marco teórico de las herramientas aplicadas en la metodología establecida en esta tesis, estas herramientas tienen su sustento teórico principalmente en la Investigación de Operaciones. En el capítulo tres se establece la metodología propuesta, ésta incluye la obtención de los parámetros del modelo, se estructura y resuelve el modelo de optimización, con Algoritmos Genéticos (AG), y evaluar las soluciones arrojadas en una simulación que representará el sistema real, este proceso en particular se realiza de acuerdo a un diseño de experimentos mediante la variación de parámetros del AG. En el capítulo cuatro se desarrolla la metodología propuesta. Finalmente en el capítulo cinco se estructura la política de inventario final, es decir, se indica la cantidad a ordenar de IAM mensualmente, así como la construcción de las conclusiones y próximas investigaciones.

1.4 Problemática

En Ciudad Universitaria (CU) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se cuenta con una población escolar (licenciatura, maestría, doctorado etc.) y personal académico (profesores de carrera, profesores de asignatura, investigadores, etc.) de 27,945 con datos de 2017 según la Dirección General de Administración Escolar de la UNAM (http://www.estadistica.unam.mx/series_inst/index.php). Por lo tanto, el servicio de Atención Prehospitalaria (SAPH) se enfrenta a un gran y diverso número de incidentes, y por ende un gran llamado al servicio de ambulancias. El riesgo de no contar con los recursos requeridos en tiempo y forma (humano, material y equipo), pone en riesgo la integridad física del paciente incluso llegando a perder la vida. No hay una correcta administración de los recursos o en palabras más adecuada, una política de inventario, por lo que las decisiones se toman de manera empírica basadas únicamente en la experiencia, lo que hace necesario una correcta administración de los IAMs basados en métodos que permitan hacer una correcta toma de decisiones.

1.5 Justificación

El siguiente trabajo se realiza debido a la inexistencia de una política de inventario en SAPH y la falta de un buen manejo en los artículos del inventario. Las propuestas que se realizarán en este trabajo se entregarán al departamento del SAPH para su posible implementación, y de ser así, tener un impacto positivo en su organización. Este impacto positivo se plantea como una contribución hacia el mejoramiento del sector salud de la universidad, asegurando así el bienestar físico de la comunidad universitaria y personas que la visiten.

1.6 Objetivos

Establecer una política de inventario para el SAPH, valiéndose de la optimización y la simulación para minimizar los costos totales.

Objetivos específicos

- Estimar la demanda de IAMs mensuales con base en el número de accidentes con el fin de determinar su comportamiento.
- Determinar el nivel de servicio para cada IAM con base en su demanda y su importancia para establecer la cantidad en inventario.

- Realizar el pronóstico de la demanda de cada IAM considerando datos históricos de demanda, usando métodos de pronóstico como Wolt-winters, VAR y ARIMAS.
- Estructurar el modelo matemático no lineal y de variables enteras, que minimice el costo de inventario total, sujeto a restricciones de presupuesto, inventario de seguridad y no negatividad.
- Elaborar un algoritmo genético valiéndose de herramientas computacionales para resolver el modelo matemático propuesto.
- Realizar una simulación en un software especializado en procesos (SIMIO^R) que imite de una buena manera la interacción entre el inventario de IAMs y la demanda de los mismos.

1.7 Hipótesis

Con la metodología propuesta de optimización-simulación, se mejora la administración del inventario de servicios médicos actual (empírica), obteniendo tres aspectos importantes en el inventario, ¿Cuándo pedir?, ¿cuánto pedir? Y el nivel de servicio a ofrecer, contemplando una demanda estocástica.

Capítulo 2. Marco conceptual

Para estructuración de la política de inventario, es necesario valerse de varias herramientas proporcionadas principalmente por la metodología de la Investigación de Operaciones (IDO), así como de la teoría de inventarios, dichas herramientas son capítulos enteros de libros dedicados en su totalidad a la IDO, por lo que, en este capítulo se resumirá en sus subcapítulos, exclusivamente la parte teórica metodológica de dichas herramientas que permita entender la metodología propuesta.

2.1 Metodología de la investigación de operaciones

Para entender la metodología de la investigación de operaciones, primero se tiene que abordar la definición de la IDO, entre varias definiciones propuestas en la literatura, se toma como eje de partida la siguiente definición “La Investigación de Operaciones es la aplicación, por grupos interdisciplinarios, del método científico a problemas relacionados con el control de las organizaciones o sistemas(hombre-máquina) a fin de que se produzcan soluciones que mejor sirvan a los objetivos de toda la organización.” (Churchman, Ackoff & Arnoff,1957). Ya que se ha abordado la definición de la IDO, se puede identificar frases clave como es el “control de organizaciones” y “produzcan soluciones que mejor sirvan a los objetivos”, justificando así el seguimiento de la metodología de la investigación de operaciones.

2.1.1. Pasos a seguir de la metodología

Básicamente, el fin de metodología de la investigación de operaciones es la construcción de un modelo, éste será construido con base en los siguiente siete pasos, tomados del libro (Winston W.,2004). Sin embargo, se considera que la metodología no es tan explícita en un paso intermedio, por lo que se añade un paso intermedio (paso 4) y se complementa el paso 5 del libro (Prawda J., 1992)

- **Paso 1:** Plantear el problema: El investigador de operaciones define primero el problema de la empresa. En dicha definición se incluye los objetivos específicos de la firma y las partes de ésta que se deben estudiar antes de poder resolver el problema.
- **Paso 2:** Observar el sistema: El investigador de operaciones reúne información para estimar el valor de parámetros que afectan el problema de la empresa. Estas estimaciones se utilizan para elaborar (en el paso 3) y evaluar (en el paso 4) un modelo matemático del problema.
- **Paso 3:** Formular un modelo matemático del problema: En este paso, el investigador de operaciones elabora un modelo matemático del problema.
- **Paso 4:** Derivar las soluciones del modelo: Resolver el modelo consiste en encontrar los valores de las variables dependientes, asociadas a las componentes controlables del sistema a fin de optimizar.
- **Paso 5:** Pruebas del modelo y de las soluciones: Los modelos no deben utilizarse confiando sólo en la intuición de la persona o grupo que los diseñen. Es necesario probar la validez del modelo, observando si es que los resultados del mismo predicen o no, con cierta aproximación o exactitud, los efectos relativos generados por las diferentes alternativas posibles.

- **Paso 6:** Seleccionar una opción adecuada: El investigador de Operaciones, dado un modelo y un conjunto de opciones, selecciona ahora la opción que cumple mejor con los objetivos de la empresa.
- **Paso 7:** Presentar los resultados y la conclusión del estudio a la empresa: Aquí, el investigador de operaciones presenta el modelo y las recomendaciones sugeridas del paso 6 a la persona o grupo que toma las decisiones.
- **Paso 8:** Poner en marcha y evaluar recomendaciones: Si la empresa acepta el estudio, entonces el analista ayuda a poner en marcha las recomendaciones. Se debe monitorear (y actualizar de manera dinámica a medida que el entorno se modifique) en forma continua en el sistema, para tener la certeza de que las recomendaciones permiten que la empresa cumpla con sus objetivos.

2.2 Teoría de Inventarios

La teoría de inventarios tiene un tronco teórico bastante fuerte y muy amplio, con muchas variantes dentro de su campo de aplicación, por lo que en este subcapítulo se dará una introducción al concepto de inventarios, cómo se estructura la función objetivo del inventario así como las características de la política de inventario que se establecerá. Todo este capítulo tiene como sustento teórico el libro titulado Planeación y Control de la Producción de (Sipper, Bulfin, 1998).

2.2.1 Concepto de inventario

Entre muchas definiciones posibles, se ha seleccionado la siguiente: “Una cantidad de bienes bajo el control de una empresa, guardados durante algún tiempo para satisfacer una demanda futura” (Sipper, Bulfin, 1998).

Es decir el inventario funciona como un amortiguador entre dos procesos: el abastecimiento y la demanda. El primero, usualmente precede al segundo y contribuye con bienes al inventario, mientras que la demanda le sigue y reduce el nivel del inventario. Ambos procesos, suministro y demanda suelen ocurrir acompañadamente. El inventario es necesario debido a las diferencias en las tasas y los tiempos entre el abastecimiento y la demanda.

Las funciones de un inventario se pueden agrupar en cinco categorías:

-Por razones de mercado. Por ejemplo cuando la disponibilidad de un bien proporciona una ventaja económica.

-Para protegerse del faltante de un bien. Debido principalmente a que los procesos de suministro y demanda actúan arbitrariamente, se tiene el riesgo de que ocurran faltantes y ocasionar molestias a los clientes, por ejemplo.

-Para tener operaciones sin contratiempos. Por ejemplo, con los cambios en la demanda de productos que se venden por temporadas.

-Para tener un tamaño del pedido, económico. Lo cual supone hacer una decisión entre el tamaño de un pedido y el número de veces que se hace el pedido, en condiciones diversas, por ejemplo, cuando el precio de los bienes depende del volumen de compra.

-Para tener un sistema de control del inventario, económico.

2.2.2 Demanda en el inventario

Como pudimos ver en la sección anterior, la demanda es la variable más importante del inventario, ya que en función de ella se podrá determinar la cantidad a ordenar o tiempos de abastecimiento. La demanda puede clasificarse según su comportamiento respecto al tiempo o por su relación con otro artículo.

-**Determinístico o estocástico.** Determinístico significa que se conoce con certidumbre la demanda futura de un artículo en inventario; esta demanda aleatoria es estocástica. Cada caso requiere un análisis diferente. El caso estocástico es más realista, pero su manejo es más complicado.

-**Demanda independiente o dependiente.** La demanda de un artículo relacionada con otro artículo y afectada principalmente por las condiciones del mercado se llama demanda independiente. Para esta tesis se contemplará una demanda estocástica e independiente.

2.2.3 Costos de inventario

Como vimos con anterioridad el inventario se define como la cantidad de un bien, y como tal, incurre en costos. Estos costos son:

2.2.3.1 Costo de compra

Es el costo por artículo que se paga a un proveedor (llamado también costo de materiales). Sea c el costo unitario y Q el número de unidades compradas (tamaño del lote). Entonces el costo total de compra es cQ , una función lineal de Q .

2.2.3.2 Costo de ordenar.

Es el costo de preparar y controlar una orden. Es aquel en el que se incurre cada vez que se coloca una orden con el proveedor. Es independiente del tamaño del lote que se compra, y por tanto, es un costo denotado por A .

Teniendo en cuenta estos costos podemos deducir que el costo total de compra es

$$A + cQ \dots \dots \dots (1)$$

Donde existe una componente fija A y una componente variable cQ .

2.2.3.3 Costo de almacenaje.

También llamado costo de mantener el inventario, éste compromete el capital del inventario, usa espacio y requiere mantenimiento. En este costo se incluyen los siguientes aspectos:

- Costo de oportunidad.
- Costo de almacenaje y manejo.
- Impuestos y seguros.
- Robos, daños caducidad, obsolescencia, etc.

El costo de almacenar comienza con la inversión del inventario. El dinero comprometido no puede obtener rendimientos en otra parte. Este costo es un costo de oportunidad, que por lo general se expresa como un porcentaje de la inversión. El valor más bajo de este costo de oportunidad es el interés que ganaría el dinero en una cuenta de ahorros. La mayor parte de las empresas tienen mejores oportunidades que las cuentas de ahorros y muchas tienen una tasa mínima de retorno, que

usan para evaluar inversiones, normalmente llamada costos de capital. La misma tasa se puede usar como parte del costo por mantener. Los costos se calculan como un porcentaje de la inversión en inventario y se suman al costo de oportunidad, esto genera el costo total de mantener el inventario.

$$i = \text{costo total de mantener el inventario (expresado en porcentaje)}$$

Debido a que el inventario casi siempre se mide en unidades y no en valor monetario, y recordando que el costo de una unidad es c , se obtiene

$$h = ic \dots \dots \dots (2)$$

Donde h es el costo de mantener una unidad en inventario durante una unidad de tiempo, expresado en valor monetario.

2.2.3.4 Costo por faltante.

Un faltante ocurre cuando existe una demanda de un producto que no tiene. Un faltante puede surtirse atrasado o perderse; la demanda de bienes durables con frecuencia se satisface con atraso.

Si la demanda se pierde, la pena más importante es la ganancia perdida y la pérdida de la buena voluntad. Si la demanda se surte atrasada existe un costo adicional al expedirla, costo de registro en libros y la reputación de un mal servicio al cliente.

Existen dos tipos de costo por faltante. Uno es el resultado de que falte una unidad; el otro considera el tiempo que la unidad falta.

Se define:

$$\begin{aligned} \pi &= \text{costo de faltante por unidad} \\ \hat{\pi} &= \text{costo de faltante por unidad que falta por unidad de tiempo} \end{aligned}$$

Casi siempre se usa π para las ventas perdidas; los faltantes usan ambas. Se observa que $\hat{\pi}$ es para los faltantes lo que h es para el inventario.

2.2.3.5 Costo de operación del sistema.

Son costos relacionados con la operación y el control de los sistemas de inventario. Este costo puede ser grande; incluye, por ejemplo, el costo de computadoras y programas para el control del inventario.

2.2.4 Modelos determinísticos con un solo artículo

Una decisión para ordenar cierta cantidad de un artículo, toma en cuenta políticas preestablecidas, se observa la cantidad a ordenar y que la orden se hará y colocará cuando el nivel del inventario llegue a una cantidad predeterminada. Este tipo y otros de políticas de control de inventarios, suelen permanecer invariantes en períodos determinados y las decisiones de ordenar suelen cambiar conforme cambia el nivel del inventario, requerido.

Es importante subrayar las siguientes convenciones:

1. El gasto del inventario se muestra usualmente como si ocurriera continuamente. De ahí que, los retiros del inventario se suavizan, es decir, se convierte a una tasa de retiro, y las unidades del inventario se consideran divisibles tanto como sea necesario.

2. El inventario disponible se representa por una línea sólida, el inventario ordenado con una línea punteada. La cantidad ordenada es la distancia vertical entre la línea sólida y la punteada.

A continuación se resumen varios modelos de inventario, de manera gráfica, en el eje horizontal se registra el tiempo y en el vertical, el nivel del inventario. Estas gráficas fueron tomadas de los apuntes de clase de la Dra. Patricia Balderas.

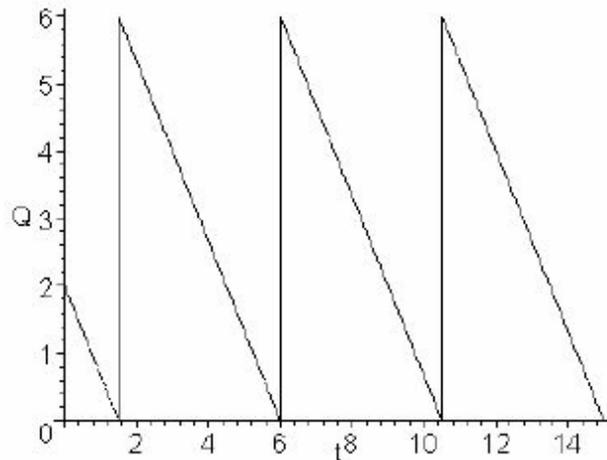


Gráfico 1 Demanda constante, sin faltante, entrega inmediata. Apuntes Dra. Balderas

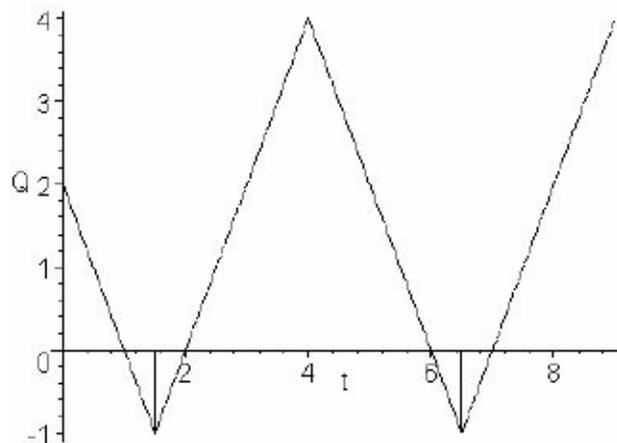


Gráfico 2. Reabastecimiento gradual, con faltantes planeados y acumulación de pedidos. Apuntes Dra. Balderas

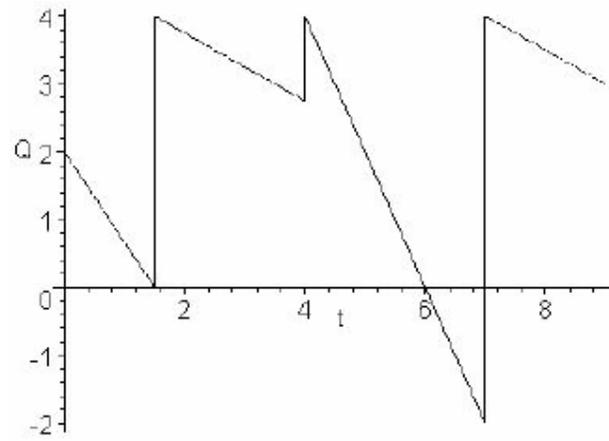


Gráfico 3. Demanda variable, entrega inmediata. Apuntes Dra. Balderas

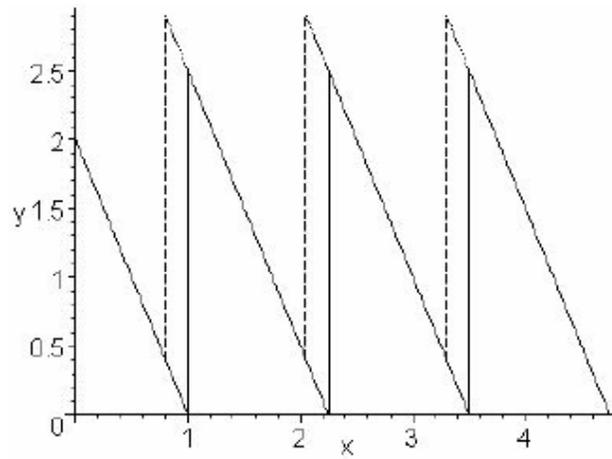


Gráfico 4. Con tiempos de retraso en el suministro. Apuntes Dra. Balderas

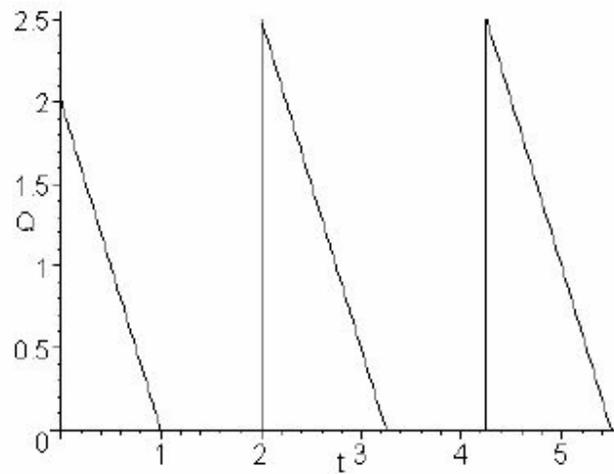


Gráfico 5. Con ventas perdidas, sin acumulación de pedidos. Apuntes Dra. Balderas

2.2.5 Cantidad económica a ordenar (EOQ)

Éste es el modelo fundamental de los modelos de inventario. Harris los introdujo en 1915. También se conoce como la fórmula de Wilson, ya que fue él quien promovió su uso. La importancia de este modelo es que todavía es uno de los modelos de inventarios que más se usan en la industria, y sirve como base para modelos más elaborados. Este modelo es adecuado para la compra de materia prima en producción o para el ambiente de ventas al menudeo. La variable de decisión para este modelo es Q , el número de unidades a ordenar, un número entero positivo. Los parámetros de costo se conocen con certidumbre y son los siguientes:

$$c = \text{costo unitario} \left[\frac{\$}{\text{unidad}} \right]$$

$$i = \text{costo total de mantener el inventario} [\% \text{ por año}]$$

$$h = ic = \text{costo total anual de mantener el inventario} [\$ \text{ por unidad por año}]$$

$$A = \text{costo de ordenar} \left[\frac{\$}{\text{orden}} \right]$$

Además, se define

$D = \text{demanda por unidad de tiempo}$

$T = \text{longitud de ciclo, el tiempo que transcurre entre la colocación (o recepción) de ordenes sucesivas de abastecimiento.}$

$K(Q) = \text{costo total anual promedio como una función del tamaño de lote } Q$

$I_t = \text{inventario disponible en el tiempo } t \text{ (cantidad real de material que hay en almacén)}$

Una herramienta útil al analizar los sistemas de inventarios es la geometría del inventario, una descripción gráfica de I_t .

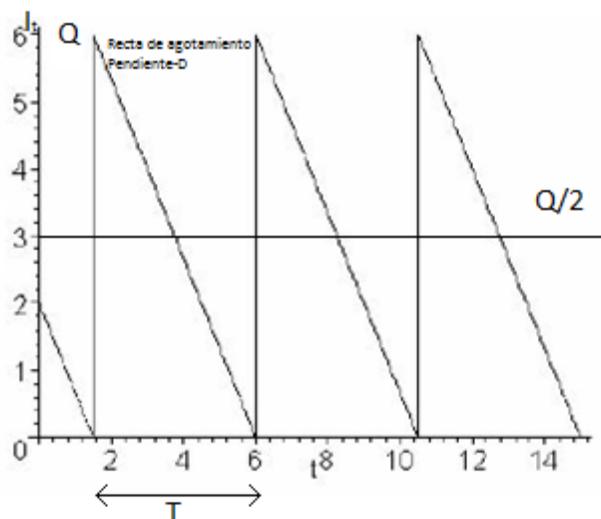


Gráfico 6. Geometría del inventario. Apuntes de la Dra. Balderas con adecuaciones propias

Se supone que el inventario es Q en el tiempo cero. Cuando pasa el tiempo, el inventario se agota a una tasa de D unidades por año (es decir pendiente de la recta del inventario es $-D$). Cuando el nivel del inventario llega a cero, se ordena Q unidades. Como se supone que el tiempo de entrega es cero

y la tasa de reabastecimiento infinita, el nivel de inventario se elevará a Q de inmediato y el proceso se repetirá. Debido a la geometría del inventario, en ocasiones este método se llama modelo de dientes de sierra.

Este patrón se llama un ciclo y puede haber varios ciclos en un año. Sea T la longitud del ciclo del inventario. De la geometría del inventario se observa que

$$T = \frac{Q}{D} \dots \dots \dots (3)$$

Sea \bar{I} el inventario promedio.

$$\bar{I} = \frac{\text{Área bajo la curva del inventario}}{T}$$

$$\bar{I} = \frac{\text{Área del triángulo del inventario}}{T} = \frac{1}{T} \frac{QT}{2} = \frac{Q}{2} \dots \dots \dots (4)$$

Este resultado se puede obtener de manera intuitiva, ya que el nivel del inventario fluctúa entre 0 y Q por lo que el promedio es $Q/2$. El nivel máximo de inventario es.

$$I_{\text{máx}} = Q \dots \dots \dots (5)$$

Existen tres tipos de costos: costo de compra, costo de ordenar y costo de mantener inventario. Para cada ciclo, los costos son.

$$cQ = \text{costo de compra}$$

$$A = \text{costo de ordenar (o de preparación)}$$

$$icT \frac{Q}{2} = hT \frac{Q}{2} = \text{costo promedio de mantener el inventario}$$

$$\text{costo total promedio} = K(Q) = cD + \frac{AD}{Q} + h \frac{Q}{2} \dots \dots \dots (6)$$

2.2.6 Modelos de artículos múltiples

Este procedimiento EOQ es adecuado cuando no hay interacción entre los artículos, como compartir recursos comunes. Los recursos comunes pueden incluir, por ejemplo, presupuesto, capacidad de almacenaje o ambos. Entonces el procedimiento del EOQ ya no es adecuado, ya que estos recursos comunes son limitados y el resultado puede violar la restricción de recursos. Por esta razón se necesita una modificación del modelo EOQ clásico. Entonces el modelo estaría determinado por una función objetivo

$$K(Q) = \sum_{i=1}^n K_i(Q_i) = \sum_{i=1}^n \left(c_i D_i + \frac{A_i D_i}{Q_i} + h_i \frac{Q_i}{2} \right) \dots \dots \dots (7)$$

Sujeto a ciertas restricciones que se especificarán de acuerdo a la situación en la que se aplique.

2.2.7 Decisiones de tiempo

Un parámetro muy importante en la planeación del inventario, es saber cuándo se tiene que ordenar. Esta decisión tiene efecto no sólo en el nivel del inventario y, por ende, en el costo del inventario, sino también en el nivel de servicio que se proporciona al cliente. Las decisiones de tiempo juegan un papel primordial en las filosofías MDS; afectan el costo y los elementos “a tiempo todo el tiempo”, dos ingredientes importantes de la satisfacción del cliente.

En lo general existen 3 categorías importantes:

- Decisiones de una sola vez
- Sistemas de revisión continua, que son sinónimo de decisiones de tiempo continuo.
- Sistemas de revisión periódica, que son sinónimo de decisiones intermitentes.

2.2.7.1 Sistemas de revisión continua

Para examinar estos sistemas, se definen dos nuevas variables de estado para el inventario:

$$\begin{aligned} X_t &= \text{posición del inventario en el tiempo } t \\ O_t &= \text{posición de órdenes colocadas en el tiempo } t \end{aligned}$$

Se debe recordar que I_t es el inventario disponible en el tiempo t y B_t es el nivel de faltantes (órdenes atrasadas) en el tiempo t . Entonces

$$X_t = I_t + O_t - B_t \dots \dots \dots (8)$$

Ya sea I_t o B_t o ambos serán cero en cualquier tiempo.

$$R = \text{punto de reorden, en el inventario } X_t \text{ cuando se coloca una orden}$$

La decisión de tiempo, cuando ordenar, es

$$\text{si } X_t \leq R, \text{ entonces se coloca una orden de } Q \text{ unidades}$$

R determina el momento de la decisión de cantidad. Estos sistemas se llaman sistemas (Q, R) ; la política está definida por dos decisiones. La decisión de tiempo considera la posición del inventario total y no sólo la del inventario disponible.

2.2.7.2 Sistema de revisión periódica

En el sistema de revisión periódica el inventario es revisado cada T periodos de tiempo. En cada revisión, si $X_t > R$, no se ordena, pero si $X_t \leq R$, se ordenará hasta el nivel meta, S , donde X , es la posición del inventario. Por lo tanto se consideran dos variables de decisión, el intervalo de revisión T y el inventario meta S , por lo que a estos sistemas se le llaman sistemas (S, T) .

2.2.8. Nivel de servicio y stock de seguridad

El papel del inventario de seguridad como protección contra la incertidumbre que genera la estocasticidad de la demanda y el hecho de contar con producto cuando se necesite, hace que este concepto tome fuerza en la optimización de los recursos que intervienen en el inventario.

El inventario se definió como amortiguador entre los procesos de abastecimiento y demanda. Con base en lo definido en este párrafo se puede inferir que el inventario también está una función de

servicio que se quiere brindar. El concepto más sencillo de servicio es que siempre que un cliente necesite un artículo del inventario, éste esté ahí. Suponiendo que el servicio es perfecto, el objetivo se cumple. Por lo tanto, el inventario de seguridad es el inventario adicional para asegurar que se cumple el objetivo de servicio. Sin embargo, más inventario significa más costo de mantenerlo y menos oportunidad de que un cliente se enfrente a un faltante. Todo se reduce a un trueque, el de cuánto servicio proporcionar con el costo.

Debido a la estocasticidad de la demanda y, considerando la realización de los pronósticos, es fácil determinar el stock de seguridad, éste se realiza multiplicando la desviación estándar del pronóstico contra la demanda y el nivel de servicio establecido (normalmente se establece como un %, pero se transforma a la función de probabilidad normal estándar z). Cabe aclarar que en la literatura se considera una desviación estándar típica, definida por la desviación estándar de los datos en el tiempo de aprovisionamiento, sin embargo para el análisis de esta tesis no se tomará en cuenta dicho parámetro, esto se debe a que, suponiendo que el pronóstico de la demanda es acertado se pediría la cantidad de la demanda que el pronóstico afirma, es evidente que el pronóstico no siempre será exacto, por lo que es necesario protegerse con un stock de seguridad definido por la desviación estándar de los datos. Por lo tanto, el stock de seguridad queda definido como sigue:

$$SS = z\sigma \dots \dots \dots (9)$$

2.3 Análisis ABC-VED

El análisis ABC-VED es bastante usado en el ámbito de la salud, ya que, no sólo permite considerar la demanda o los costos de los productos, sino que realiza un análisis aún más profundo considerando qué tan crítico es que se encuentre el producto en inventario. Algunos conceptos fueron tomados de (Devnani, M., Gupta, A., & Nigah, R.,2010)

2.3.1 Análisis ABC

El análisis ABC clasifica los artículos de acuerdo a su importancia relativa, es decir sólo considera los costos y demanda de dicho artículo. Puede intuirse que existen 3 clasificaciones, A, B y C. La primera representa los artículos que generan mayor cantidad de ingresos o representan la mayor cantidad de ventas, se considera por estudios repetidos que del 5% al 20% de todos los productos en existencia representa del 55% al 65% de las ventas de alguna organización. De la misma manera se considera que en la clasificación B, el 20% a 30% de todos los productos explican el 20% al 40% de las ventas. Por último, del 50% al 75% de todos los productos representan sólo entre el 5% al 25% de las ventas. El análisis permite obtener información encasillada que permite tomar decisiones en función de la importancia de los productos, ya sea para realizar promociones, análisis de ventas, prioridad de compras etc. La desventaja con este tipo de análisis, es que sólo se considera el elemento monetario y, para hacer un análisis más amplio de las características de los artículos de alguna organización, quedará limitado.

2.3.2 Análisis VED

El análisis VED está basado en valores criticidad y costos de almacenamiento de los artículos. Basado en su criticidad, los artículos pueden ser clasificados en 3 categorías, vital, esencial y deseable. Por ejemplo, se podría presentar un paciente con una dislocación y que una medicina no esté disponible, esto no compromete al paciente pero es deseable que se encuentre la medicina, por otro lado, si se

presenta un paciente con una herida grave y no se encuentra una medicina crítica para el proceso de atención, esto compromete la vida del paciente, por lo que es vital que se tenga dicha medicina. Entonces, los artículos que cuenten con la clasificación V(vital) no pueden faltar en el inventario. Los artículos E(esencial) podrían tener algún faltante un periodo, pero no más a éste. Los artículos con la clasificación D(deseable) podrían faltar en el inventario algunos periodos más que los artículos E.

2.3.3 Análisis ABC-VED

Una combinación de los análisis ABC y VED (matriz ABC-VED), puede ser empleado para desarrollar un control más preciso sobre el suministro de materiales. La categoría I incluye todos los artículos caros y vitales (AV, BV, CV, AE, AD). Categoría II incluye los artículos restantes de los grupos E y B (BE, CE, BD). Categoría III incluye los grupos de artículos deseables y baratos (CD). (Vaz FS, Ferreira AM, Kulkarni MS, Motghare DD & Pereira-Antao, 2008).

2.4 Pronósticos

Por pronóstico se entiende “el conjunto de actividades a través de las cuales, a partir de datos históricos relevados del entorno —series cronológicas, experiencia cualitativa—, se obtienen escenarios y proyecciones de los valores futuros de las variables bajo análisis.” (Jacuzzi E., 2002). Dichas actividades interpretadas como métodos de pronóstico, existen en la literatura en gran proporción, debido a esto se clasifican en métodos cualitativos y cuantitativos, estos últimos se caracterizan por tener como base un modelo matemático y tener datos históricos que permitan elaborar el pronóstico. Se hace una recopilación de la estructura teórica de los métodos de pronósticos cuantitativos más utilizados, estos son Vectores Autorregresivos, Holt Winters y ARIMAS.

2.4.1 Vectores Autorregresivos

En los apuntes online de (STAT 510, 2018), se describen los modelos VAR (vector autoregressive models), estos son usados para series de tiempo multivariadas. La estructura es, que cada una de las variables es una función lineal del pasado de sí mismo y el pasado de otras variables. Los modelos de vectores autoregresivos de orden 1, denostados como VAR(1), es como sigue:

$$x_{t,1} = \alpha_1 + \phi_{11}x_{t-1,1} + \phi_{12}x_{t-1,2} + \phi_{13}x_{t-1,3} + w_{t,1} \dots \dots \dots (10)$$

$$x_{t,2} = \alpha_2 + \phi_{21}x_{t-1,1} + \phi_{22}x_{t-1,2} + \phi_{23}x_{t-1,3} + w_{t,2} \dots \dots \dots (11)$$

$$x_{t,3} = \alpha_3 + \phi_{31}x_{t-1,1} + \phi_{32}x_{t-1,2} + \phi_{33}x_{t-1,3} + w_{t,3} \dots \dots \dots (12)$$

Cada variable es una función lineal de un valor rezagado para todas las variables del conjunto. En general, para un modelo VAR(p), el primer rezago p de cada variable en el sistema sería usada como predictores de regresión para cada variable.

2.4.2 ARIMA

En (Omane, M., Oduro, F.,&Dua S., 2013), se realiza una comparación entre los métodos ARIMA y Holt-Winters, se extrae el fundamento teórico de estos dos métodos de dicha fuente.

Los modelos ARIMA(Autorregressive Integrated Moving Average) fueron propuestos y los hicieron populares Box y Jenkins en los 70's. Los dos eruditos reconocidos combinaron los modelos

AR(Autorregresivo) y MA(Moving Average) con un término integrado, el cual remueve los patrones de las series de tiempo que usualmente hacen a las series ser no estacionarias. Hay dos formas del modelo basado en el tipo de patrones de las series. Un modelo ARIMA-estacional es básicamente usado cuando las series de tiempo muestran claros patrones estacionales. En ausencia de patrones estacionales se usa un ARIMA-noestacional para representar la serie. La notación de un ARIMA-noestacional puede ser expresada como $ARIMA(p, d, q)$, donde p representa el término autorregresivo el cual pone mucho peso en los valores pasados de la serie para pronósticar valores futuros; d denota el número de veces que la serie es diferenciada para lograr la estacionariedad; y q es el término de media móvil el cual depende de los errores de pronósticos anteriores de la serie para obtener pronósticos futuros. Como una extensión del modelo no-estacional, el modelo ARIMA-estacional podría ser expresado de una manera multiplicativa como un $ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s$, donde (p, d, q) representa la parte no-estacional del modelo, $(P, D, Q)_s$ muestra el componente estacional del modelo y s es el número de periodos por estación. En el componente estacional, P representa el término SAR(seasonal autoregressive), D el número de diferencia(s) estacionales desarrolladas y Q denota el término SMA(seasonal moving average). La notación general del modelo ARIMA-estacional puede ser escrita como:

$$(1 - B)^d(1 - B)^D Y_t = \mu + \frac{\theta(B)\theta(B^s)}{\phi(B)\Phi(B^s)} \varepsilon_t \dots \dots \dots (13)$$

donde, B es un operador de rezago y Φ, θ medias móviles estacionales y el polinomio autorregresivo estacional de orden P y Q respectivamente.

2.4.3 Modelo Holt Winters

Los métodos de suavizado Holt-Winters(HW) es una generalización de los métodos Holt's lineales. La técnica fue propuesta en 1960 por Holt y Winters. Amplía la ecuación lineal de Holt's para capturar directamente la estacionalidad. El método de Holt-Winters es ampliamente usado en series de tiempo, presentando patrones de tendencia creciente o decreciente con presencia de estacionalidad. Básicamente tiene tres ecuaciones de suavizado. Cada ecuación de suavizado está diseñada para capturar ya sea la presencia de nivel, tendencia o estacionalidad en la serie. Puede ser usada para pronosticar series de tiempo en el corto, medio y largo plazo. La técnica es diferente a otros métodos de pronóstico en el sentido de que no depende del ajuste de ninguna técnica de modelación estadística. En su lugar, usa pasos iterativos para producir valores pronosticados. Generalmente, hay dos versiones del método de suavizado Holt-Winters, dependen si el patrón estacional en la series es modelado en un proceso aditivo o multiplicativo. El HW multiplicativo no es aplicable si la serie de tiempo tiene valores nulos o negativos. Sus ecuaciones son las siguientes:

nivel: $L_t = \alpha \left(\frac{y_t}{S_{t-s}} \right) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \dots \dots \dots (14)$

tendencia: $b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \dots \dots \dots (15)$

estacionalidad: $S_t = \gamma \left(\frac{y_t}{L_t} \right) + (1 - \gamma)S_{t-s} \dots \dots \dots (16)$

pronóstico: $f_{t+m} = (L_t + b_t m)S_{t-s+m} \dots \dots \dots (17)$

donde y_t es la serie observada, s la longitud del ciclo estacional, L_t da el nivel de la serie, b_t representa la tendencia, $0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1, 0 \leq \gamma \leq 1$ y f_{t+m} representa el pronóstico para m -periodos adelante. Diferente al HW multiplicativo, las ecuaciones del HW aditivo difieren en términos

de la estacionalidad y el proceso de pronóstico. La ecuaciones del HW aditivo están dadas de la siguiente manera:

$$\text{nivel: } L_t = \alpha(y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \dots \dots \dots (18)$$

$$\text{tendencia: } b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \dots \dots \dots (19)$$

$$\text{estacionalidad: } S_t = \gamma(y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \dots \dots \dots (20)$$

$$\text{pronóstico: } f_{t+m} = L_t + b_t m + s_{t-s+m} \dots \dots \dots (21)$$

2.5 Optimización

Para este subcapítulo se toma el desarrollo teórico del libro (Winston W., 2004), empezando por la definición sacada de sus páginas de lo que es un modelo de optimización: “Un modelo de optimización dicta el comportamiento para una organización que le permitirá a ésta alcanzar mejor su(s) meta(s)”. Entre los elementos de un modelo de optimización están:

- **Función(es) Objetivo.** Maximizar o minimizar
- **Variables de decisión.** Las variables cuyos valores están bajo nuestro control e influyen en el desempeño del sistema.
- **Restricciones.** Son las restricciones de los valores de las variables de decisión.

En pocas palabras, un modelo de optimización trata de encontrar valores, entre el conjunto de todos los valores para las variables de decisión, que optimicen (maximicen o minimicen) una función objetivo que satisfagan las restricciones dadas.

Se dice que cualquier especificación de las variables de decisión que cumple con todas las restricciones del modelo se encuentra en la **región factible**, mientras que, la **solución óptima** para un modelo de optimización es cualquier punto de la región factible que optimice la función objetivo.

2.5.1 Clasificación de los modelos de optimización

Modelos estáticos y dinámicos: Un modelo estático es uno en el cual las variables de decisión no requieren sucesión de decisiones para periodos múltiples. Un modelo dinámico es uno en el cual las variables de decisión sí requieren sucesiones de decisiones para periodos múltiples. En esencia, en el modelo estático se resuelve un problema luego de un solo intento, cuyas soluciones dictan valores óptimos de las variables de decisión en todos los puntos del tiempo.

Modelos lineales y no lineales: Si las variables de decisión aparecen en la función objetivo y en las restricciones de un modelo de optimización y, están multiplicadas por constantes y multiplicadas en forma de suma, entonces se trata de un modelo lineal. Por otro lado si un modelo de optimización no es lineal, entonces es un modelo no lineal.

Modelos enteros y no enteros: Si una o más variables de decisión deben ser enteros, entonces se dice que un modelo de optimización es un modelo entero. Si todas las variables de decisión son libres para asumir valores fraccionarios, entonces el modelo de optimización es un modelo no entero.

Modelos determinísticas estocásticos: Si se supone que para cualquier valor de las variables de decisión, se conoce con certeza el valor de la función objetivo y si las restricciones se cumplen o no. Entonces se tiene un modelo determinístico; de no ser así, se tiene un modelo estocástico.

2.5.2 Modelos no lineales

Un problema de programación no lineal (PNL) general se expresa como sigue:

$$\begin{aligned} \max(\text{o min}) \quad & z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \text{s. a.} \quad & g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) (\leq, =, \geq) b_1 \\ \text{s. a.} \quad & g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) (\leq, =, \geq) b_2 \\ & \vdots \\ \text{s. a.} \quad & g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) (\leq, =, \geq) b_m \\ & x_1, x_2, \dots, x_n \in E^n \end{aligned}$$

Siendo f una función continua, que denota a la función objetivo, g_1, g_2, \dots, g_m funciones continuas que denotan restricciones de igualdad o desigualdad, mientras que x_1, x_2, \dots, x_n es un vector del espacio Euclidiano de n -dimensiones, E^n

Los problemas no lineales pueden ser según

- Restringidos: cuando se tienen restricciones (lineales o no lineales).
- No-restringidos: cuando no se tienen restricciones y sólo se optimiza la función objetivo, que desde luego, no es lineal.
- Continuos: cuando todas las variables y funciones son continuas.
- Discretos: cuando algunas de las variables y/o funciones son discretas.
- Diferenciables: cuando todas las funciones del problema son doblemente diferenciables.
- Con restricciones de igualdad o desigualdad.
- Convexos, cuadráticos, separables.
- Con una sola variable independiente o con varias variables independientes.

Para percibir de una mejor manera lo que es un modelo no lineal, se considera el siguiente ejemplo de optimización no lineal

$$\begin{aligned} \text{Mín } Z &= x_1^2 - x_2^2 + 3x_1 - 6x_2 + x_1x_2 \\ \text{sujeto a} \\ x_1 - 3x_2 + 1 &= 0 \\ x_1^2 + x_2^2 + \frac{1}{4} &\leq 16 \\ x_1 &\geq 0 \\ x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Es menester observar que la función objetivo es una función no lineal, así como una de sus restricciones, no necesariamente tiene que ser de esta manera, podría ser que la función objetivo sea no lineal y sus restricciones lineales o viceversa y, seguiría siendo un modelo no lineal. También es de discutir que, en la función objetivo existe un término donde se está multiplicando las dos variables, a pesar de que ninguna de las dos variables está elevada a alguna potencia mayor a 1, se

considera un modelo no lineal debido a que no es una constante por la que se está multiplicando alguna de las dos variables, sino que es propiamente la otra variable la que está multiplicado.

2.5.3 Métodos heurísticos

Ya se ha hablado en este capítulo respecto a la clasificación de los modelos de optimización, sin embargo, aún no se ha abordado cómo es que se resuelven. En la literatura existen diversos métodos para solucionar cada tipo de modelo de optimización, la solución de un problema de optimización es encontrar el valor de las variables de decisión que cumplen con las restricciones y maximizan o minimizan la función objetivo. Un ejemplo muy común y conocido es el método Simplex para resolver problemas lineales, este método es de fácil implementación y arroja una solución de manera rápida. Sin embargo existen problemas de optimización que son difíciles de resolver y el tiempo en el que arroja una solución es muy largo. Desde el punto de vista de la complejidad computacional son clasificados como problemas NP-duros, es decir que para dichos problemas no es posible garantizar el encontrar la mejor solución posible en un tiempo razonable. Este tipo de problemas impulsaron el desarrollo de nuevos métodos que permitieran resolver estos problemas, surgiendo así los métodos heurísticos. Una definición que abarca el ámbito de estudio de esta tesis y el concepto de heurístico, se estructura como sigue:

En la Investigación de Operaciones el término “heurístico” se aplica a menudo a métodos (que pueden o no involucrar búsquedas) que están basados en argumentos intuitivos o plausibles que conducen a soluciones razonables pero que no garantizan el óptimo. Son métodos para el problema bajo estudio, basados en reglas de sentido común, o adaptaciones de métodos exactos para modelos simples. (Flores M.,2002).

Por lo tanto, los métodos exactos proporcionan una solución óptima del problema, mientras que los métodos heurísticos se limitan a proporcionar una buena solución del problema no necesariamente óptima. Sin embargo a manera de síntesis, los métodos heurísticos se ocupan cuando los métodos exactos ya no pueden resolver el problema en un tiempo razonable.

2.5.3.1 Algoritmos evolutivos

Los algoritmos evolutivos son métodos robustos de búsqueda, que permiten tratar problemas de optimización donde el objetivo es encontrar un conjunto de parámetros que minimizan o maximizan una función de adaptación (fitness). Estos algoritmos operan con una población de individuos $P(t) = \{x_1^t, \dots, x_n^t\}$ para la iteración t , donde cada individuo x_i representa un punto de búsqueda en el espacio de las soluciones potenciales a un problema dado. El desempeño de un individuo x_i se evalúa según una función de adaptación $f(x_i)$. Esta función permite ordenar del mejor al peor los individuos de la población en un continuo de grados de adaptación. (Estevez P., 1997).

2.5.3.1.1 Algoritmo Genético

Los Algoritmos Genéticos son métodos adaptativos, generalmente usados en problemas de búsqueda y optimización de parámetros, basados en la reproducción sexual y en el principio de supervivencia del más apto (Fogel D., 2006). Los AG combinan dos fenómenos que son básicos para que cualquier algoritmo de optimización sea eficiente, la exploración y la explotación (Holland,1975/1992); la exploración consiste en investigar nuevos y desconocidos individuos en el

espacio de las soluciones del problema. La explotación se usa para aprovechar el conocimiento que se tenía de los puntos anteriormente encontrados para encontrar puntos mejores.

La implementación del algoritmo genético, considera pasos bien definidos que fueron establecidos por Holland, cabe aclarar que hoy en día existe una gran variedad de adaptaciones del proceso ya establecido, sin embargo la estructura fundamental sigue siendo la misma que Holland propuso (considerando que los códigos genéticos son binarios).

Una explicación muy sencilla y adaptada en su mayoría a los fines de este documento escrito, podemos encontrarla en (Carnicero A.& Galindo J. , 2003).

1. Generar Población: Consiste en la generación de una serie de cadenas de números aleatorios, cada una de las cuales representa un individuo de la población.

2. Codificación y decodificación: Para la correcta codificación, se debe tener conocimiento del problema e identificar, tanto las variables a codificar, como el orden de magnitud de dichas variables. Los cromosomas son cadenas de números que representan al individuo y pueden codificar numerosos parámetros de éste. Cada parámetro se codifica mediante un grupo de números que pueden representar diferentes valores. Cada grupo de números representativos de cada parámetro se ponen seguidos unos de otros, formándose así el cromosoma. Existen varios tipos de codificación, como la binaria, la entera, la de árbol, la de valor, grey, etc.

3. Evaluación: La evaluación permite determinar el buen o mal ajuste que tiene cada individuo de la población a una función, que es la que va a regir el comportamiento de éstos en las sucesivas iteraciones. Esta función se denominará Fitness. El Fitness modela el problema global de optimización, e incluso, a veces coincide con la función a optimizar o función objetivo.

4. Selección: La selección permite elegir a los individuos que sean más aptos según la evaluación anterior. La idea general de la selección es que los mejores individuos según la función de ajuste serán los que tengan más posibilidades de pasar a la siguiente generación. En la selección existe una gran variedad de métodos, cuyo uso debe depender del tipo de problema, por ejemplo, el método de torneo determinista selecciona al azar un número p de individuos, de entre los individuos seleccionados se selecciona el más apto para pasarlo a la siguiente generación.

5. Cruce: La etapa de cruce es otro elemento muy importante en los AG y está íntimamente relacionada con la de selección. Consiste en la reproducción de los padres que se cruzan entre sí para dar nuevos hijos que formarán parte de la nueva población. Estos padres son elegidos de entre todos los individuos mediante algún método de selección. En el cruce existe un parámetro básico que es la probabilidad de cruce que indica la frecuencia con que se produce la selección, dicha probabilidad de cruce puede depender del tipo de problema que se trate pero es frecuente emplear una probabilidad de cruce de 0.6.

6. Mutación: El concepto de mutación en los AG es el mismo que en las leyes de la evolución. La mutación consiste en la variación de algún gen de los cromosomas de forma aleatoria, con lo que el individuo cambia sus características para mejorar o empeorar según sea el cambio. El parámetro

básico en esta etapa es la probabilidad de mutación. La probabilidad de mutación es un parámetro análogo a la probabilidad de cruce e indica la frecuencia con que se produce la mutación dentro de la población; generalmente este parámetro es pequeño para que no se desvirtúen los individuos obtenidos en la etapa de cruce, pero es necesario para que en la población se produzca una cierta variabilidad y las poblaciones tengan posibilidad de cambiar. La probabilidad de mutación suele tener un valor en torno al 1%.

7. Obtener n individuos: Después del proceso de mutación ya se ha evaluado completamente el AG en el que se partía de una población inicial y se ha obtenido otra población distinta y teóricamente más adaptada al medio.

8. Volver al paso 3, si no se cumple criterio de fin.

2.5.3.1.1.1 Cruza en una población Real

Para el trabajo con variables reales, no se puede trabajar con el proceso de recombinación propuesto por Holland, por tanto se recurre a un método adaptado a estas circunstancias, este método de recombinación es propuesto en (Muhlenbein, H., Schomisch, M., & Born, J., 1991) en éste la mezcla de variables fue llamada recombinación y la mezcla de variables fue llamada cruza. Desde un punto de vista matemático esta distinción es innecesaria. Cualquier operador que combina el material genético de dos padres es llamada un operador de recombinación.

Recombinación intermedia

Sea $x = (x_1, \dots, x_n)$ y $y = (y_1 \dots y_n)$ la cadena de padres. Entonces la descendencia será

$$z_i = x_i + \alpha_i(y_i - x_i) \dots \dots \dots (21)$$

α_i es elegido uniformemente en un intervalo de [-0.25, 1.25].

Generando cualquier punto dentro de un hipercubo y, así la recombinación con características de ambos padres es lograda.

2.5.3.1.1.2 Manejo de restricciones

Una de las desventajas del algoritmo genético clásico es que no se encuentra restringido para el proceso de optimización. Se han propuesto diferentes maneras para considerar las restricciones dentro del AG, siendo la manera más común la penalización de restricciones. La propuesta seleccionada para el manejo de restricciones en esta tesis es mencionada en (Coello, C., 2002).

Se considera un problema de programación no lineal en el cual se quiere encontrar un vector \vec{x} el cual optimicé $f(\vec{x})$

Sujeto a

$$g_i(\vec{x}) \leq 0, \quad i = 1, \dots, n \dots \dots \dots (22)$$

$$h_j(\vec{x}) = 0, \quad j = 1, \dots, m \dots \dots \dots (23)$$

Donde \vec{x} es el vector de solución $\vec{x} = [x_1, x_2, \dots, x_r]^T$, n es el número de restricciones en forma de inecuaciones y m es el número de restricciones en forma de ecuaciones (en ambos casos, las restricciones deben ser lineales o no lineales).

La formulación general de la función de penalización

$$\phi(\vec{x}) = f(\vec{x}) \pm \left[\sum_{i=1}^n r_i \times G_i + \sum_{j=1}^m c_j \times L_j \right] \dots \dots \dots (24)$$

Donde $\phi(\vec{x})$ es la nueva función objetivo expandida a ser optimizada, G_i y L_j son funciones de las restricciones $g_i(\vec{x})$ y $h_j(\vec{x})$ respectivamente y, r_i y c_j son constantes positivas normalmente llamadas "factores de penalización".

La forma más común de G_i y L_j es

$$G_i = \max[0, g_i(\vec{x})]^\beta \dots \dots \dots (25)$$

$$L_j = |h_j(\vec{x})|^\beta \dots \dots \dots (26)$$

Donde β y γ son normalmente 1 o 2.

Idealmente, la penalización debe mantenerse tan bajo como sea posible, sólo por arriba del límite bajo en el cual las soluciones infactibles son óptimas.

2.6 Simulación

La simulación se podría definir como una técnica que imita la operación de un sistema del mundo real a medida que evoluciona con el tiempo (Winston W., 2005). Esto normalmente se hace desarrollando un modelo de simulación. Un modelo de simulación, por lo general, toma la forma de un conjunto de suposiciones acerca del sistema, expresado como relaciones matemáticas o lógicas entre los objetos de interés en el sistema. A través de un software en el que se realizan pruebas o experimentos a distintos escenarios del sistema, con el fin de analizar los resultados arrojados y obtener así conclusiones de tal manera que sirva como apoyo para la toma de decisiones en el sistema real.

Para poder entender cómo es que se desarrolla un modelo de simulación, en primera instancia se tiene que definir cierta terminología.

- Sistema: es una colección de entidades que actúan e interactúan hacia la realización de algún fin lógico.
- Estado: El estado de un sistema es el conjunto de variables necesario para describir el status del sistema en algún momento determinado
- Variables de estado: Describe los cambios de status
- Entidad: Objeto de interés
- Atributo: Propiedades de una entidad

2.6.1 Metodología de simulación

La metodología de simulación que se emplea para esta tesis, es la metodología de (Banks, 2005), que es una metodología para simulación de procesos. En la literatura existen diferentes estructuraciones de dicha metodología, sin embargo, la que se considera de mayor entendimiento y aplicación es la siguiente, tomada en su mayoría de (Marmolejo I., Granillo R. & Santana F., 2014)

1. Formulación del problema: Si lo que se busca es transformar una situación confusa e indeterminada, reconocida como problemática, es necesario comprender el sistema a modelar. Esto incluye el estado actual del sistema (lo que está sucediendo y por qué está sucediendo) y el deseado (cómo puede hacerse mejor). De esta manera, se podrán definir los objetivos del proyecto de simulación una vez que se logre definir los elementos componentes del sistema, las variables, su comunicación e interacción, así como establecer sus alcances y limitaciones.

2. Colocación de objetivos y el plan del proyecto global: Los objetivos indicarán las preguntas que deben responderse mediante la simulación, la clase de información que debe ser colectada y el nivel de detalle necesario.

3. Conceptualización del modelo: En esta etapa debe definirse qué aspectos del sistema serán representados en el modelo y cuáles no.

4. Recolección y procesamiento de datos: Los objetivos del estudio establecen, en gran medida, la clase de datos que deben ser obtenidos y cuántos detalles son adecuados a fin de no perder información valiosa. Los datos pueden ser obtenidos de observaciones de un sistema ya existente. En el caso de un sistema inexistente, los datos deben ser estimados. Mediante estos datos se obtendrán los valores de los parámetros estadísticos (definición de variables respecto a una distribución de probabilidad) que serán utilizados durante la programación del modelo de simulación.

5. Construcción del modelo: En este punto el objetivo es ganar conocimiento acerca de la naturaleza del sistema, así como proyectar situaciones alternas desprendidas por causa de un desencadenamiento de eventos distintos a las condiciones normales de operación. Con el propósito de pronosticar eventos, evaluar consecuencias y proponer alternativas que contribuyan a mejorar el comportamiento del mismo.

6. Verificación Ya que se tiene el modelo en un programa de computación, es necesario asegurar que el modelo conceptual refleje con precisión los parámetros, sucesos y lógica del sistema real. Aquí es donde se podrá verificar si el modelador alimentó al software de simulación con información correcta.

7. Validación: Validar un modelo es hacer un juicio relativo; su utilidad debe ser juzgada y comparada con el sistema real mediante la realización de pruebas del modelo con respecto al sistema real en condiciones normales de operación. El modelo es válido si representa adecuadamente al sistema que está siendo modelado.

8. Diseño de experimentos: En este paso se planean los experimentos que se harán mediante el modelo de simulación establecido (qué es lo que desea saber y cómo los experimentos de simulación

lo llevarán a obtener las respuestas de forma precisa y eficaz). Algunos de los aspectos que se deben definir son: las condiciones bajo las cuales se harán las simulaciones, la duración del tiempo que se desea simular y el número de simulaciones requeridas (réplicas).

9. Producción de corridas de simulación y análisis: El objetivo aquí es medir el comportamiento del sistema simulado, por lo que en este paso se realizan los experimentos establecidos en el punto anterior bajo las condiciones de interés preestablecidas. El Análisis de los resultados de las simulaciones implica el análisis estadístico de los resultados (tablas de datos y gráficos) provenientes del paso anterior, con el objeto de hacer inferencia estadística y proyectar los valores de las medidas de desempeño que son de interés.

10. Corridas adicionales: Las simulaciones adicionales se hacen necesarias cuando no se está conforme con los resultados obtenidos en algún panorama proyectado en los pasos anteriores, o bien cuando se tiene idea de nuevos escenarios que podrían ir incluso más allá de los objetivos buscados en un inicio. Sí se determina que son necesarias las corridas adicionales, podría requerirse de un nuevo diseño del experimento y por tanto un nuevo análisis de resultados

11. Puesta en marcha del modelo: Ya concluido el proyecto, los clientes o dueños del sistema tendrán una herramienta que les permitirá proyectar distintos escenarios de simulación a diferentes espacios de tiempo. Lo anterior permitirá tomar decisiones con mayor certidumbre fundamentadas bajo los resultados del análisis estadístico de un modelo de simulación. Sin embargo, tanto el modelador como el dueño del sistema deberán estar conscientes de que la información colectada del modelo tiene desviaciones estadísticas por el empleo de números aleatorios, lo que conlleva a un cierto margen de error. Entonces, al dar resultados numéricos, lo recomendable es presentarlos con rangos y no en términos puntuales.

Capítulo 3 Metodología de solución

En este capítulo se establece la política de inventario para SAPH, así como las herramientas teóricas y metodológicas que se ocuparán a lo largo del procedimiento de solución. El procedimiento está cimentado sobre una metodología bien definida, como es la metodología de la investigación de operaciones, ésta se vio en el capítulo 2 de esta tesis. La metodología, se presenta de la forma siguiente: se evoca cada uno de los pasos de la metodología de la Investigación de operaciones, dentro de cada uno de estos se especifica las herramientas teóricas metodológicas, las actividades que se realizarán, así como las herramientas de cómputo (si es el caso) que se emplearán.

3.1 Planteamiento del problema

El problema, así como los objetivos, se planean a través de la observación y con la ayuda del expertis de los trabajadores del SAPH

3.2 Observar el sistema

Se reúne información para estimar los parámetros que se introducirán al modelo, los parámetros a considerar son los costos del inventario, nivel de servicio y la demanda de cada uno de los IAMs.

3.2.1 Costos de inventario

Como se vio en el capítulo 2, existen 5 tipos de costos: costos de compra, costos de ordenar, costos de almacenaje, costos por faltantes y costos de operación del sistema. Para este problema en particular donde se pone en riesgo la integridad física de las personas e incluso la vida, no se considera el costo por faltante, debido a que se trabajará con una política en la que no se permiten faltantes.

Costos de compra: se hace una investigación en los diferentes puntos de venta de los IAMs, ya sea farmacia online, tiendas de autoservicio, laboratorios, etc. Con el fin de obtener los precios de venta de cada uno de los artículos.

Costos de ordenar: Este costo se estima sumando el salario de un trabajador de la UNAM, que cumpliría la función de llamar a los proveedores para el abastecimiento del inventario, con la renta de una línea telefónica para la comunicación con los proveedores.

Costos de almacenaje: como se mencionó en el capítulo II, estos costos son los más complicados de estructurar, debido a la cantidad de aspectos que contempla, incluso hay artículos completos para determinar dicho costo, si se quiere indagar más en este tema puede verse en (Lambán, M., Royo, J., Valencia, J., Berges, L., & Galar, D., 2013). Los costos de almacenamiento se consideran de un 25% del valor del inventario disponible (Stock J. & Lambert D., 2001).

Costo de operación del sistema: Se considera el costo de una computadora de media calidad y el costo de la paquetería office para controlar el inventario desde una herramienta muy sencilla como es el programa Excel. Este es un costo de una sola exhibición por lo que permanece constante a lo largo de todos los periodos.

3.2.2 Estimación de la demanda

La estimación de la demanda comienza con la obtención de los siguientes datos

- **Accidentes por periodo de tiempo:** se recopila datos de las hojas de registro que se encuentran en el área de atención prehospitalaria, éstas tienen información como (fecha, tipo de accidente, causa de accidente, datos generales del servicio y datos del paciente).
- **Insumos ocupados para cada tipo de accidente:** se realiza una matriz para determinar la cantidad de IAMs que se ocupan para cada uno de los tipos de accidentes, éstos tienen a su vez una subdivisión que los clasifica en grave, moderado y leve. Entonces, de acuerdo al tipo y la gravedad del accidente es el tipo y la cantidad de IAMs que se ocupan. Esta información es determinada con ayuda de los expertos en atención prehospitalaria.
- **Gravedad del paciente:** Posteriormente se procede a elaborar un algoritmo que permita determinar la gravedad del accidente en función de los datos del paciente, de igual manera se logra realizar con ayuda de la experiencia de los expertos en atención prehospitalaria.

Una vez que se cuenta con esta información, es posible determinar la demanda de cada uno de los IAMs en función del tiempo (serie de tiempo), esto se logra relacionando la base de datos de accidentes por periodo de tiempo y la gravedad del accidente, con los insumos ocupados para cada tipo de accidente.

Ya que se generan las series de tiempo de cada uno de los IAMs, se estima el consumo para cada uno de ellos (pronóstico). Se ocupan tres métodos de pronóstico: vectores autorregresivos, ARIMAS y Holt Winters. Estos métodos son implementados con ayuda del software R, si se quiere indagar más sobre esta herramienta computacional, se puede ver en la siguiente dirección electrónica (<https://www.r-project.org/>).

El primer método de pronóstico a utilizar es vectores autorregresivos, ya que se estima que algunos IAMs tienen una función lineal del pasado de sí mismos y el de otros IAMs, ya que pueden tener una correlación por ocuparse de manera simultánea en el tratamiento de diferentes accidentes.

Para los IAMs restantes se realiza el pronóstico con los métodos ARIMA o Holt Winters, la manera en la que se adopta un método u otro depende de la suma de los errores, estos errores son determinados comparando el pronóstico con el valor real de la demanda, por lo que se realiza el pronóstico ocupando datos de sólo 2 años y comparando el pronóstico con la demanda real del tercer año. El método que tenga un error más pequeño es el que se ocupa para realizar el pronóstico con los datos de los 3 años.

El producto final de este desarrollo es el pronóstico de la demanda para cada uno de los IAMs de manera mensual.

3.2.3 Nivel de servicio y stock de seguridad

Como se vio en capítulos anteriores, el stock de seguridad es la cantidad de bienes que se deben guardar en inventario para poder satisfacer la demanda, mientras que el nivel de servicio es la probabilidad de que no se encuentre en existencia algún bien. En primera instancia se realiza el análisis ABC (\$ el valor del dinero en el tiempo), considerando exclusivamente la demanda de cada

uno de los IAMs, esto debido a que el SAPH no tiene fines de lucro, por lo que la importancia de dicho IAM no recae en su precio. Posteriormente se realiza el análisis VED(Vital, Escencial, Deseable), considerando la opinión de expertos en el tema, realizando una encuesta de clasificación que emita ordenar los IAMs en cada una de las clases.

El nivel de servicio estará determinado por los resultados obtenidos del análisis ABC-VED, estos resultados son representativos de la importancia de cada uno de los IAMs dentro del inventario, así como para los pacientes. De acuerdo a la categoría que establece el análisis será el nivel de servicio que se establecerá, se puede intuir que en la categoría I se encontrarán los artículos que tienen mayor nivel de servicio debido a su importancia y, que los artículos de la categoría III tendrán un nivel de servicio más bajo. Sin embargo, por tratarse de un problema en el ámbito de la salud, los niveles de servicio comparados con otros ámbitos (manufactura, ventas etc.) son considerablemente más altos. En la siguiente tabla se muestra cómo se relaciona la clasificación ABC-VED

	IAMs que cumplan con las 2 clasificaciones
Clase I	AV, BV, CV, AE, AD
Clase II	BE, CE, BD
Clase III	CD

Tabla 1. Relación de clases del análisis ABC y VED. Elaboración propia realizado con Excel

Una vez que se tiene el nivel de servicio para cada uno de los artículos, se considera como una probabilidad de tener en existencia dicho IAM en inventario en un periodo de tiempo determinado. Al momento de realizar el pronóstico de la demanda con el software R, es posible incluir este parámetro dentro del software como el nivel de confianza para los intervalos de predicción. De esta manera cuando se realiza el pronóstico, el software R también determina el stock de seguridad para cada IAM en cierto periodo de tiempo.

3.3 Formular un modelo matemático del problema

Como se estableció en capítulos anteriores, una política de inventario necesita responder 3 preguntas fundamentales; ¿Cuánto pedir?, ¿Cuándo pedir? y ¿Con qué nivel de servicio se planea trabajar? Como la tesis está orientada a establecer una política de inventario, el modelo de optimización tiene que estar orientado para resolver estas preguntas. Entonces, los elementos a considerar para estructurar el modelo de optimización son:

1. **Costos:** Como es bien sabido, las preguntas anteriores a su vez son determinadas por los costos de inventario que influyen en determinar un número que dé respuesta a éstas. Por lo tanto, los costos son pieza fundamental para estructurar el modelo de optimización. Por lo tanto el objetivo sería minimizar los costos de inventario de SAPH
2. **Presupuesto:** En toda organización se cuenta con un presupuesto de compra, que delimita cuánto comprar de cierto tipo de productos, este presupuesto funciona como restricción en el modelo de optimización para delimitar la cantidad de IAMs a comprar en cierto periodo de tiempo
3. **Sincronización del inventario para periodos posteriores.** Relacionar el inventario disponible en algún periodo con el periodo posterior, debido a que el pedir de más cuando no es necesario

impactaría directamente en los costos de mantener el inventario. Por lo que tiene que haber un equilibrio entre el inventario actual y el inventario de un periodo futuro.

4. **Stock de seguridad:** Se tiene que asegurar que haya más de cierta cantidad de IAMs en inventario para asegurar cumplir con el nivel de servicio establecido.
5. **Naturaleza de los paquetes de IAMs.** Cuando se compra cierta cantidad de IAMs, se tiene que considerar que no se puede comprar 3.4 cajas, sino que se tiene que comprar o 3 o 4 cajas, es decir, se compraran número enteros de paquetes de IAMs.

De manera explícita y con fines de estructuración del modelo, el primer punto es considerado la función objetivo, mientras que los puntos restantes serán las restricciones del modelo. Las variables de decisión serán cuándo pedir, cuánto pedir y con qué nivel de servicio se trabajará.

Considerando lo anterior, se tiene que establecer cómo se relacionarán estas variables de decisión, como se sabe que existen 2 políticas de inventario vistas en el capítulo anterior; (Q,R) y (S,s,T) con sus diferentes características. Entonces, se propone establecer una política de inventario híbrida, donde se considere el parámetro Q (cantidad a pedir), s (stock de seguridad) y T (intervalo de ordenamiento), formulando así una política (Q,s,T) . La ventaja de esta política es reducir los costos de coordinación entre compras considerando T una constante, para este caso será de 1 mes. Nótese que la propuesta establecida sigue respondiendo las preguntas bases de una política de inventario.

3.4 Derivar las soluciones del modelo

Para solucionar el modelo, es necesario definir tanto la naturaleza de las variables de decisión hasta el tipo de funciones que lo estructuran. Para este problema se establece que las variables de decisión son enteras, las restricciones son funciones lineales y la función objetivo es una función no lineal. Con la premisa anterior, se podría considerar que para solucionar el problema abordado se puede implementar un método para solucionar problemas no lineales bastante mencionados en la literatura, sin embargo, por la cantidad de restricciones y de variables de decisión se considera un problema altamente combinatorio enfrentándose entonces a un problema NP-hard. Como se abordó en el capítulo anterior, los problemas NP-hard pueden ser solucionados con un método heurístico, para este caso de estudio se implementa un algoritmo genético (AG) debido a su versatilidad y amplia aplicación. La implementación del algoritmo genético para resolver el problema de inventarios en el SAPH, se realiza en el software MATLAB siguiendo los pasos descritos por Holland para la implementación de un algoritmo genético binario, considerando algunas variaciones a dicho proceso como son:

- No se genera una cadena binaria como población, sino que se considera una población de números reales.
- Se añade un proceso extra en la función de evaluación para considerar el manejo de restricciones.

Para la derivación de las soluciones, se desarrolla mediante la realización de un diseño de experimentos que permita variar los parámetros iniciales del AG y, es como sigue:

1. Se corre el AG para obtener la solución al modelo de inventario con ciertos valores de probabilidad de cruce, probabilidad de mutación, número de individuos y de los parámetros de las restricciones.
2. Debido a la variabilidad de las soluciones, se realizan 10 corridas con los parámetros establecidos en cada experimento.
3. Se selecciona la mejor solución de cada uno de los experimentos, considerando el menor valor de la función objetivo.
4. Se hace el listado de los experimentos con su mejor solución.

3.5 Pruebas del modelo y de las soluciones

Para poder comparar el modelo de optimización con la realidad, es necesario que haya una realidad con la que comparar, sin embargo, para este problema donde el SAPH no cuenta con registros de la demanda real de sus IAMs, se propone realizar un modelo de simulación que permita imitar el proceso de demanda de IAMs y el inventario que estará satisfaciéndola. Debido a que se trata de un proceso discreto, la metodología a seguir será la de Banks, ya que ésta está enfocada a simulación de procesos. Entonces, la simulación funcionará para probar la validez del modelo, observando si los resultados arrojados por éste satisfacen la demanda de artículos en la simulación. El proceso de selección de las soluciones que satisfacen la demanda en la simulación es mediante el descarte de éstas, es decir, se introduce la política de inventario (soluciones del paso anterior) en la simulación y, las que no satisfagan la demanda serán descartadas. Para realizar la simulación se ocupará el software SIMIO.

3.6 Seleccionar una opción adecuada

Ya que se tienen las soluciones que satisfacen la demanda en la simulación, se procede a elegir la más adecuada, la toma de decisión se realiza con base en el criterio de costo mínimo. Cabe destacar que la función de evaluación es diferente a la función objetivo, ya que dicha función de evaluación también considera la penalización de las restricciones siendo un parámetro dentro del AG para seleccionar al mejor individuo. Entonces, es necesario evaluar las soluciones obtenidas hasta este paso en la función objetivo, seleccionando la solución con costo mínimo.

3.7 Presentar los resultados y la conclusión del estudio a la empresa

Se presentará la propuesta de política de inventarios, en primera instancia al personal operativo del SAPH para la evaluación de la solución del modelo y, para estimar si resultados son consistentes o lógicos, esto según su experiencia. Si el personal operativo del SAPH considera que los resultados son aceptables, entonces se esperaría presentar los resultados a la dirección de servicios médicos.

3.8 Poner en marcha y evaluar recomendaciones:

Si el personal operativo del SAPH está de acuerdo y se les permite establecer la política de inventario, entonces ésta se implementará bajo las condiciones que el SAPH establezca. Se tendrá que estar monitoreando y en su caso corrigiendo para el mejor desarrollo de la política de inventarios.

3.9 Metodología representada en diagrama

Se presenta el siguiente diagrama que ilustra de una manera esquemática la metodología propuesta en la presente tesis

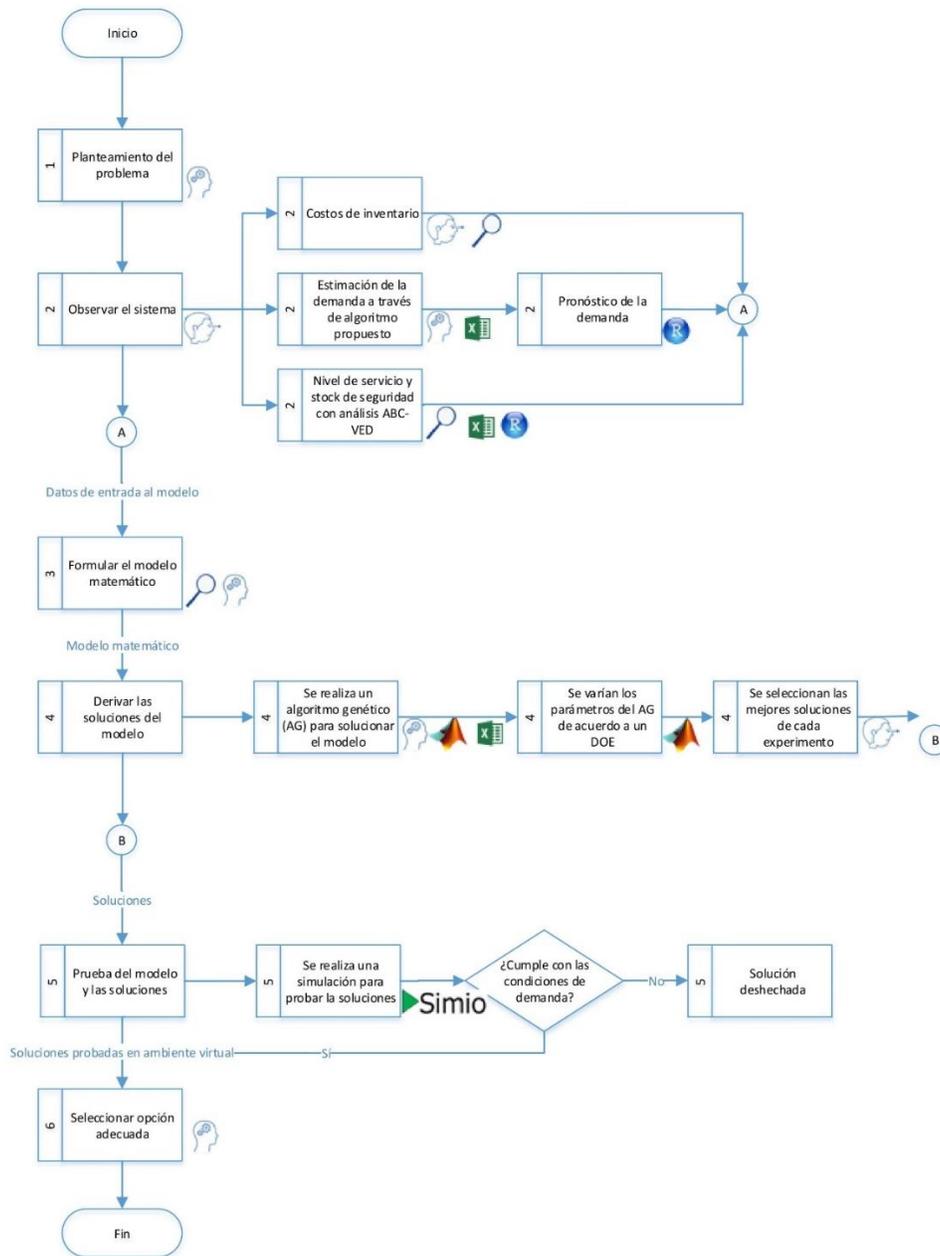


Imagen 1. Diagrama de flujo de la metodología propuesta. Elaboración propia Realizado con Microsoft Visio)

Capítulo 4 Implementación de la metodología

En este capítulo se desarrolla la metodología propuesta, delimitada desde la observación del sistema hasta la selección de la solución más adecuada. Al final del capítulo se muestra como resultado la cantidad a pedir de cada uno de los IAMs de manera mensual. Cabe destacar que de todos los IAMs que componen el inventario del SAPH, se consideran exclusivamente 42, estos son los que tienen una mayor rotación y cuentan con una demanda variable a lo largo del tiempo. Esto se debe a que, por ejemplo existen IAMs que se ocupan sólo 1 vez cada 9 o 10 meses y se reemplazan en el mismo momento.

4.1 Observar el sistema

El levantamiento de la información se realiza directamente en el SAPH, a través de documentos previamente autorizados, así como con el expertis de los trabajadores de dicho departamento.

4.1.1 Costos

Costos de compra

Se presentan los precios de los IAMs, así como la cantidad de producto por paquete. Estos costos fueron principalmente tomados de la página de internet <https://byprice.com>

IAM	Cantidad	Precio	IAM	Cantidad	Precio
gasas	100	99.76	Punzocat14	10	76.56
vendas 10 cm[pieza]	1	16.24	Punzocat16	10	76.56
vendas5cm[pieza]	1	8.12	Punzocat18	10	76.56
jabón anticéptico[ml]	3785	32.24	Punzocat20	10	76.56
solución isotónica[ml]	1000	26.05	Punzocat22	10	76.56
guantes de latex[pares]	100	163	Hartmann[ml]	1000	31.5
guantes de poliuretano[pares]	50	409.19	expansores de plasma[ml]	1000	75
Tela adhesiva[cm]	1000	15.66	NaCl[ml]	1000	23.59
Apósitos	5	207.64	glucosa5%[ml]	1000	43.4
papel de registro[cm]	3	36	Jeringa	25	61.48
electrodos	100	286.88	diasepam[ampolleta]	5	39.76
mascarilla de laringea	1	272.6	Midasolam[ampolletas]	5	47.075
canula de yankawer	1	17.4	atropina[ampolletas]	10	47.075
canal nasal	1	26	diclofenaco[ampolleta]	6	35.0238
mascarilla facial	1	22.04	ketorolaco[ampolleta]	6	86.0531
reservorio	1	33.64	Nalbufina[ampolleta]	5	22.89
tubo orotraqueal	1	40.6	Adrenalina[ampolleta]	10	73.437
fijador de tubo	1	5.8835	Difenilhidantoína [ampolleta]	5	575
oxígeno[l]	3450	5918	Butilioscina[ampula]	3	62.4
Paquete venopunción	1	72.81	Metamisol[Ampula]	5	40.2962
Venuset	1	60.6841	Bicarbonato de sodio[Ampula]	1	11.6746

Tabla 2. Precios por paquetes de IAMs. Elaboración propia realizado con Excel

Costo de ordenar

Se considera que el salario quincenal por parte de un trabajador administrativo de la UNAM es de \$4,000.00, por lo que mensualmente será de \$8,000.00. Adicionalmente a esto se considera que la renta telefónica estándar es de \$400.00 pesos mensuales, por lo que sumando dichos costos se tiene que el costo por ordenar es de \$8,400.00. De manera de introductoria a la notación establecida, se denota lo siguiente

$$\text{costo de ordenar} = A = 8,400.00$$

Costos de almacenaje

Los costos de almacenaje dependerán del precio y el porcentaje establecido en el capítulo anterior que fue del 25%. Estos se logran multiplicando los 2 factores mencionados anteriormente. Por lo tanto los costos de almacenaje son los siguientes. Denotados por la letra h .

IAM	h (costo de almacenaje)	IAM	h (costo de almacenaje)
gasas	24.94	Punzocat14	19.14
vendas 10 cm[pieza]	4.06	Punzocat16	19.14
vendas5cm[pieza]	2.03	Punzocat18	19.14
jabón anticéptico[ml]	8.06	Punzocat20	19.14
solución isotónica[ml]	6.51	Punzocat22	19.14
guantes de latex[pares]	40.75	Hartmann[ml]	7.88
guantes de poliuretano[pares]	102.30	expansores de plasma[ml]	18.75
Tela adhesiva[cm]	3.92	NaCl[ml]	5.90
Apósitos	51.91	glucosa5%[ml]	10.85
papel de registro[cm]	9.00	Jeringa	15.37
electrodos	71.72	diasepam[ampolleta]	9.94
mascarilla de laringea	68.15	Midasolam[ampolletas]	11.77
canula de yankawer	4.35	atropina[ampolletas]	11.77
canal nasal	6.50	diclofenaco[ampolleta]	8.76
mascarilla facial	5.51	ketorolaco[ampolleta]	21.51
reservorio	8.41	Nalbufina[ampolleta]	5.72
tubo orotraqueal	10.15	Adrenalina[ampolleta]	18.36
fijador de tubo	1.47	Difenilhidantoína [ampolleta]	143.75
oxígeno[l]	1479.50	Butilhioscina[ampula]	15.60
Paquete venopunción	18.20	Metamisol[Ampula]	10.07
Venuset	15.17	Bicarbonato de sodio[Ampula]	2.92

Tabla 3. Costo de almacenaje de IAMs anualmente. Elaboración propia realizado con Excel

Costos de Operación del sistema

Este costo se estructura por el costo de una computadora de mediana calidad que está alrededor de \$4500.00 y el costo de la paquetería de office que es de \$1300.00 teniendo como resultado un costo de operación de \$5,800.00, éste es denotado por la letra E

$$\text{costo de operación} = E = 5,800$$

4.1.2 Estimación de la demanda

Accidentes por periodo de tiempo

Se estructura una tabla que relaciona el tipo de accidente y la fecha en la que se presentó (tabla 4). El registro de datos se realizó de manera diaria a partir del 1 de enero de 2014 y terminando el 31 de diciembre de 2016. Se coloca un 1 si es que hubo un accidente de cierto tipo en la fecha correspondiente.

MES	FECHA	CHOQUE	AUTOMOVILISTICO	MOTOCICLETA	BICICLETA	AQUINAR	VOLCADURA	INTOXICACION	LESION ACCIDENTAL	APLASTAMIENTO	HERRAMIENTA	CAIDA	NIVEL PISO
Enero	03/01/2014	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Enero	05/01/2014												
Enero	06/01/2014												
Enero	07/01/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Enero	07/01/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Enero	08/01/2014												
Enero	08/01/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Enero	09/01/2014												
Enero	10/01/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Enero	10/01/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Enero	11/01/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Enero	12/01/2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Enero	12/01/2014	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Enero	13/01/2014	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Enero	13/01/2014	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Tabla 4. Accidentes 2014-2016. Elaboración propia realizado con Excel

Para estructurar la tabla anterior, fue necesario vaciar los datos que se encuentran en las hojas de registro (Imagen 2) que ocupan los empleados de SAPH, en éstas se especifica el tipo de accidente, así como el estado de conciencia y estados vitales del paciente (tabla 5).

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
REGISTRO DE AMBULANCIA Y ATENCIÓN
PREHOSPITALARIA

UNAM
INGEM
TEL. 4680

I DATOS GENERALES DEL SERVICIO
FECHA: _____ HORA: _____ HORA DE LLEGADA: _____ HORA DE PARTIDA: _____
NOMBRE DEL PACIENTE: _____
CALLE: _____ NO. _____
C.P.: _____ MUNICIPIO: _____ ESTADO: _____
TIPO DE SERVICIO: EMERGENCIA / TRANSFERENCIA / OTRO: _____
UBICACIÓN: _____

DETALLE DE AMBULANCIA TIPO: _____
LUGAR: _____
OPERADOR: _____
Y ATENCIÓN PREHOSPITALARIA: _____
Y SERVICIO PREHOSPITALARIO: _____

TIPO CAUSAL
TRAUMA: / OTRO:

ACTUACIÓN DEL TIPO CAUSAL
FACTORES DE RIESGO: ACCIDENTE AUTOMOVILÍSTICO / CAÍDA / OTRO: _____

PROTECCIÓN A LA OÍDIA DE TRASLADO
CINTURÓN: / OTRO:

EXAMEN FÍSICO DEL PACIENTE
SIGNOS VITALES: _____

TRAYectoria AGENTE CAUSAL
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

CHOCAR AUTOMOVILÍSTICO
VEHICULO: _____
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

ENFERMEDAD GENERAL
HIPERTENSIÓN: / DIABETES: / OTRO:

PARTE POSITIVO
PRODUCTO DEL MANEJO PREHOSPITALARIO: _____

II DATOS DEL PACIENTE
NOMBRE COMPLETO: _____
EDAD: _____ SEXO: _____
ESTADO CIVIL: _____
OCCUPACIÓN: _____
FECHA DE NACIMIENTO: _____
ALMORZAR: / NO:

OBSERVACIONES Y COMENTARIOS DEL SERVICIO

EVALUACIÓN INICIAL A VIA AEREA Y NIVEL DE CONCIENCIA
NIVEL DE CONCIENCIA: _____
TIPO DE RESPIRACIÓN: _____
TIPO DE RUIDOS: _____

MANEJO
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

B. VENTILACIÓN
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

MANEJO
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

C. CIRCULACIÓN
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

MANEJO
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

MANEJO VITALES
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

MANEJO ELECTROCARDIOGRÁFICO
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

MANEJO INTEGRAL
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

TEMPERATURA
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

SIGNOS Y SINTOMAS
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

CONDICIÓN DEL PACIENTE
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

ANTECEDENTES MÉDICOS DE IMPORTANCIA
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

PRUEBA DE COMA DE GLASGOW
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

HALLAZGOS PREHOSPITALARIOS
TIPO: _____
LUGAR: _____
MOMENTO: _____

Imagen 2. Hoja de registro. Tomado del SAPH

Fecha	A. vía y nivel de conciencia			Signos vitales		
	Permeable	Conciente	Comprometida	FC	TAS	TAD
03/01/2016	1	1		90	140	90
03/01/2016	1					
05/01/2016	1			90	100	70
08/01/2016	1	1				
08/01/2016	1	1		80	100	70
09/01/2016	1	1		72	110	70
09/01/2016	1	1		90	140	100
10/01/2016	1	1		84	120	90

Tabla 5. Nivel de conciencia y signos vitales del paciente. Elaboración propia realizado con Excel

Siendo FC la frecuencia cardiaca, TAS la tensión arterial sistólica y por último TAD la tensión arterial diastólica

Insumos ocupados para cada tipo de accidente

Posteriormente se recaba otra información referente los IAMs ocupados para la atención al paciente por tipo de accidente, cabe destacar que dentro de la clasificación del tipo de accidente existe una subclasificación referente a la gravedad del accidente, ya que son diferentes los insumos ocupados en los accidentes leves que en los graves. Para ilustrar esta información, se toma como ejemplo un choque automovilístico.

Choque automovilístico		
Insumo	Moderado	Grave
gasas	40	100
bandas 10 cm[pieza]	3	3
bandas5cm[pieza]	2	2
jabón anticéptico[ml]	75	
solución isotónica[ml]	500	
dopamina[ampolletas]		0.2
guantes de latex[pares]	3	
guantes de poliuretano[pares]		3
Tela adhesiva[cm]	30	30
Apósitos		4
papel de registro[cm]		30
electrodos		3
mascarilla de laringea		0.2
canula de yankawer		0.6
mascarilla facial	1	
tubo orotraqueal		1
fijador de tubo		1
oxígeno[l]	200	500
Paquete venopunción		2
Venuset		2
Punzocat14		0.5

Punzocat16		0.5
Punzocat18		0.5
Punzocat20		0.5
Punzocat22		0.1
Hardmann[ml]		350
expansores de plasma[ml]		75
NaCl[ml]		250
glucosa5%[ml]		
Jeringa	1	1.5
diasepam[ampolleta]		
Midasolam[ampolletas]		0.4
atropína[ampolletas]		0.4
diclofenaco[ampolleta]	0.33333333	
quetorolaco[ampolleta]	0.33333333	
Nalbufina[ampolleta]	0.33333333	
Adrenalina[ampolleta]		0.5

Tabla 6. Insumos ocupados por gravedad de accidente. Elaboración propia realizado con Excel

Se puede llegar a preguntar el porqué de tener números no enteros en el manejo de estos accidentes, esto se debe a que no siempre se ocupan estos insumos, es decir y a manera de ejemplo, de 5 veces que ocurre el accidente sólo en dos ocasiones se ocupa el Midasolam, de manera práctica se considera una probabilidad frecuencial, obteniendo así que cada vez que sucede el accidente se ocupa 0.4 de midasolam. También existe el caso de los eventos mutuamente excluyentes, en los cuales se implementa un insumo u otro insumo, pero nunca ambos. Para estos casos la probabilidad es $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$, donde $P(A)$ es la probabilidad de uso del insumo A y $P(B)$ es la probabilidad de uso del insumo B , por ejemplo: el caso de choque automovilístico en un accidente moderado, se ocupa una ampolleta de diclofenaco o una ampolleta de Nalbufina o una ampolleta de Adrenalina, pero nunca se ocupan simultáneamente, en este caso se ocupa la probabilidad de uso es la misma de 0.333333 y como se ve la suma es 1.

Gravedad del accidente

Para saber cuál es la gravedad del accidente se remonta a la tabla de datos del paciente, en ésta se puede ver algunos parámetros que permitirán definir la gravedad del accidente. En concreto, se contemplan 5 factores que decidirán la gravedad del accidente, estos son:

- Frecuencia cardiaca (FC).
- Tensión/Presión arterial sistólica (TAS).
- Tensión/Presión arterial diastólica (TAD).
- Paciente comprometido.
- Paciente consciente.

Se realiza el siguiente algoritmo para determinar la gravedad del accidente en función de los factores antes mencionados

Para la frecuencia cardiaca (FC)

Si $FC \leq 90$ y $FC \leq 60 \rightarrow a=3$

Si $FC > 90$ y $FC \leq 120 \rightarrow a=6$

Si $FC > 120$ o ($FC < 60$ y $FC > 40$) $\rightarrow a=9$

Para la Tensión/Presión arterial sistólica (TAS).

Si $TAS > 110$ y $TAS < 130 \rightarrow b=3$

Si ($TAS \geq 130$ y $TAS < 140$) o ($TAS \leq 110$ y $TAS > 90$) $\rightarrow b=6$

Si $TAS > 140$ o ($TAS < 90$ y $TAS > 40$) $\rightarrow b=9$

Para la Tensión/Presión arterial diastólica (TAD).

Si $TAD > 70$ y $TAD < 90 \rightarrow c=3$

Si ($TAD \geq 90$ y $TAD < 100$) o ($TAD \leq 70$ y $TAD > 60$) $\rightarrow c=6$

Si $TAD \geq 100$ o ($TAD \leq 60$ y $TAD > 30$) $\rightarrow c=9$

Para paciente consciente y comprometido

Si Consciente=1 $\rightarrow d=20$

Si Comprometido=1 $\rightarrow e=20$

Por lo tanto para determinar la gravedad del accidente

$a+b+c+d+e=n$

Si $n \geq 0$ y $n < 10 \rightarrow$ Leve

Si $n \geq 10$ y $n < 20 \rightarrow$ Moderado

Si $n \geq 20 \rightarrow$ Grave

Determinación de la demanda

Se realiza una tabla resumen considerando los aspectos anteriores; accidentes por periodo de tiempo, insumos ocupados por cada tipo de accidente y la gravedad del paciente. La (tabla 7) sólo ilustra la estructura de los datos ordenados, ya que la base de datos que se obtuvo contiene los tres años de registro, todos los tipos de accidente y la totalidad de los IAMs.

FECHA	TIPO	CHOQUE	AUTOMOVILISTICO	Leve	Model	Grave	gasas	bandas 10 cm[pieza]	bandas5cm[pieza]	jabón anticéptico[m]	solución isotónica[m]
25-01-16	Trauma	1	1	0	1	0	40	3	2	75	500
26-01-16	Trauma	1	1	1	0	0	12	1	1	25	250
26-01-16	Trauma	1	1	1	0	0	12	1	1	25	250
26-01-16	Trauma	1	1	1	0	0	12	1	1	25	250
26-01-16	Trauma	1	1	0	0	1	100	3	2		
26-01-16	Trauma	1	1	0	1	0	40	3	2	75	500

Tabla 7. Tabla resumen para determinar la demanda. Elaboración propia realizado con Excel

Tomando como base los datos anterior, se determina la cantidad de IAMs por unidad de tiempo, para el análisis se contempla una demanda de artículos mensuales, por lo tanto se tiene que sumar la cantidad de IAMs que se ocupan a lo largo de un mes. En la (tabla) se muestra la demanda a lo largo de los 3 años de toma de datos de 9 de los 42 IAMs.

MES	gasas	vendas 10 cm[pieza]	vendas 5cm[pieza]	jabón anticéptico[ml]	solución isotónica[ml]	guantes de latex[pares]	Tela adhesiva[cm]	Apósitos	papel de registro[cm]
ene-14	1129	64	49	1250	10000	150	1020	24	190
feb-14	1058	81	59	1875	14500	204	1350	16	160
mar-14	1246	97	77	2425	19250	267	1980	19	250
abr-14	1016	75	55	1850	14500	159	1140	25	250
may-14	1271	98	69	2250	16750	219	1470	22	320
jun-14	964	70	54	1675	13000	189	1140	8	150
jul-14	586	40	79	1425	6750	87	542	11	70
ago-14	1224	82	60	1775	13250	180	1230	23	230
sep-14	804	66	49	1525	12250	201	1080	23	200
oct-14	1409	102	72	2310	18250	249	1530	33	490
nov-14	1376	102	71	2275	17000	249	1470	28	400
dic-14	1052	73	48	1500	11250	180	1020	21	110
ene-15	660	50	29	875	6250	123	510	20	180
feb-15	1152	79	58	1825	13500	174	1110	16	60
mar-15	1556	110	81	2600	19250	240	1560	12	260
abr-15	1166	81	63	1875	14750	270	1350	15	250
may-15	1180	81	47	1125	8750	171	930	35	340
jun-15	736	55	39	1225	9250	171	780	8	270
jul-15	560	40	31	925	7500	96	720	5	110
ago-15	626	39	31	850	7500	144	690	26	90
sep-15	1028	74	48	1400	10500	195	930	35	290
oct-15	1465	108	78	2425	18250	216	1560	14	120
nov-15	1298	88	64	1750	14000	282	1380	32	430
dic-15	1576	113	77	2275	17500	282	1680	32	300
ene-16	786	48	32	750	6000	117	660	28	190
feb-16	824	59	45	1400	10750	147	930	8	110
mar-16	1162	69	51	1375	11250	186	1170	28	300
abr-16	960	65	50	1475	11500	162	1050	12	140
may-16	1089	65	49	1375	10750	184	1105	272	300
jun-16	824	68	45	1400	10750	168	1020	24	90
jul-16	668	57	36	1025	8000	90	780	14	30
ago-16	568	40	28	775	6500	120	690	10	140
sep-16	1013	66	40	1050	8250	165	870	40	170
oct-16	936	72	54	1650	13250	249	1230	21	290
nov-16	1672	118	87	2850	21250	345	1680	24	660
dic-16	1353	96	66	2125	16250	261	1410	31	230

Tabla 8. Demanda de IAMs mensuales de 2014-2016. Elaboración propia realizado con Excel

Pronóstico de la demanda

Para realizar el pronóstico se considera lo siguiente. Como se ha visto anteriormente se determinó la demanda de cada uno de los IAMs por artículo, es decir, cierto número de ampollitas, cierto número de ámpulas, etc. Entonces, para realizar el pronóstico y a manera de encaminar los resultados de éste a los parámetros que necesitará el modelo de optimización, se divide la demanda de cada IAM entre el número de IAMs que trae cada paquete, obteniendo el pronóstico de la demanda de paquetes por periodo de tiempo. Para realizar el pronóstico se ocupa un software especializado en el análisis estadístico como lo es R (<https://www.r-project.org/>) con el entorno de desarrollo de Rstudio (<https://www.rstudio.com/>). El primer paso para comenzar el proceso es descargar e instalar las librerías correspondientes.

```
library("tseries")
library("forecast")
```

Vectores autorregresivos

Se sabe de antemano que hay una correlación entre ciertos artículos que se ocupan en conjunto para diversos accidentes, por lo tanto, lo primero que se realiza es el método de vectores autorregresivos, que permite considerar dicha relación.

Como primer paso se realiza una matriz de correlaciones para saber si hay alguna relación entre los productos. Se realizan grupos de productos que estén relacionados y permitan realizar el procedimiento establecido con anterioridad. Para el documento no se pondrá la matriz de correlaciones debido a su magnitud. Para esta selección sólo se escogió los que presentaran una correlación mayor a 0.7. Se observa que presentaban un ordenamiento en grupos que guardaban gran correlación entre ellos, por lo que se decidió seccionar el estudio en grupos.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
gasas	Paquete de venopunción	Electrodos
vendas10.cm	Venuset	Mascarilla de laringea
vendas5cm	Punzocat14	Canula de Yankawer
jabón.anticéptico	Punzocat16	
solución isotónica	Punzocat18	
guantes de latex	Punzocat20	
Tela Adhesiva	Punzocat22	
papel de registro	Hartmann	
canula nasal	Expansores de plasma	
mascarilla facial	Glucosa	
reservorio	Jeringa	
oxígeno	Diasepam	
NaCl	Midamisolam	
diclofenaco	Atropina	
ketorolaco	Adrenalina	
Nalbufina		
Enalapril		
Metamisol		

Tabla 9. Grupos de IAMs que presentan correlación. Elaboración propia realizado con Excel

Teniendo ordenados los datos de demanda de cada uno de los grupos, se procede a cargar y realizar la prueba Phillip_Ouliaris para cada uno de los grupos.

```
grupo1<-read.csv(file="C:/Users/adm/Documents/LUIS/2do semestre Maestría/Series de tiempo/para proyecto/series listas/AIM 1 grupo.csv",header = T)
attach(grupo1)
po.test(grupo1)
```

Debido a la cantidad de series que puede analizar el software R, sólo se tendrá disponibilidad de hasta 6 series para cada grupo, de las cuales se tendrá que comprobar que estén cointegradas, si no lo están se probarán con series del mismo grupo hasta que cointegren, incluso quedando con menos de 6 series. Cabe destacar que se realizaron bastantes pruebas y combinaciones para obtener los siguientes resultados, donde las series para cada uno de los grupos ya conintegran.

Grupo 1

```
## The following objects are masked from hosp:
##
gasas,
jabón.anticéptico.ml.,
solución.isotónica.ml.,
vendas.10.cm.pieza.,
vendas5cm.pieza.

##
## Phillips-Ouliaris Cointegration Test
##
## data: grupo1
## Phillips-Ouliaris demeaned = -35.051, Truncation lag parameter =
## 0, p-value = 0.0715
```

Imagen 3. Prueba Phillips-Ouliaris en R para grupo 1. Realizado con R

Dado un nivel de significancia $\alpha=10$ y siendo la hipótesis nula que no cointegran, entonces, como el valor $p\text{-value}=0.0715037$, se considera que las series de tiempo de demanda de “gasas, jabón anticéptico, solución isotónica, vendas de 10cm y vendas de 5 cm” cointegran.

Grupo 2

```
## The following objects are masked from hosp:
##
Punzocat18,
Punzocat20,
Punzocat22

## Warning in po.test(grupo2): p-value smaller than printed p-value

##
## Phillips-Ouliaris Cointegration Test
##
## data: grupo2
## Phillips-Ouliaris demeaned = -40.606, Truncation lag parameter =
## 0, p-value = 0.01
```

Imagen 4. Prueba Phillips-Ouliaris en R para grupo 2. Realizado con R

Dado un nivel de significancia $\alpha=10$ y siendo la hipótesis nula que no cointegran, entonces, como el valor $p\text{-value}=0.01$, se considera que las series de tiempo de demanda de “punzocat de 18, punzocat de 20 y punzocat de 22” cointegran.

Grupo 3

```
## The following objects are masked from hosp:
##
canula.de.yankawer,
electrodos,
mascarilla.de.laringea

##
## Phillips-Ouliaris Cointegration Test
##
## data: grupo3
## Phillips-Ouliaris demeaned = -26.692, Truncation lag parameter =
## 0, p-value = 0.04588
```

Imagen 5. Prueba Phillips-Ouliaris en R para grupo 3. Realizado con R

Dado un nivel de significancia $\alpha=10$ y siendo la hipótesis nula que no cointegran, entonces, como el valor p-value=0.0458798, se considera que las series de tiempo de demanda de “cánula yankawer, electrodos y mascarilla de laringea” cointegran.

Ya que se determinó que las series cointegran, se transforman los datos a una serie de tiempo, para después determinar el VAR correspondiente a cada grupo, se tiene que considerar el rezago correspondiente con el fin que en la gráfica de los residuales, no se salgan de los límites. Una vez que se comprueba el rezago “p” que permite que los residuales no salgan de los límites, se procede a hacer el pronóstico de cada uno de los grupos de IAMs.

Para la elección de “p”, se fue variando hasta que el ACF de los errores no salieran de los límites, aquí se presentan los que ya se determinaron que están bien. De manera ilustrativa sólo se presentarán las gráficas del grupo 1.

```
####Grupo 1:
`{r, echo=FALSE}
tsgrupo1<-ts(grupo1, frequency=12,start=c(2014,1))
grupo1.var<-VAR(tsgrupo1, p=2, type= "trend")
acf(resid(grupo1.var)[,1], main="ACF error gasas")
acf(resid(grupo1.var)[,2], main="ACF error Jabon Anticeptico")
acf(resid(grupo1.var)[,3], main="ACF error solucion Isotonica")
acf(resid(grupo1.var)[,4], main="ACF error vendas 10cm")
acf(resid(grupo1.var)[,5], main="ACF error vendas 5cm")
`{`
```

Grupo 1

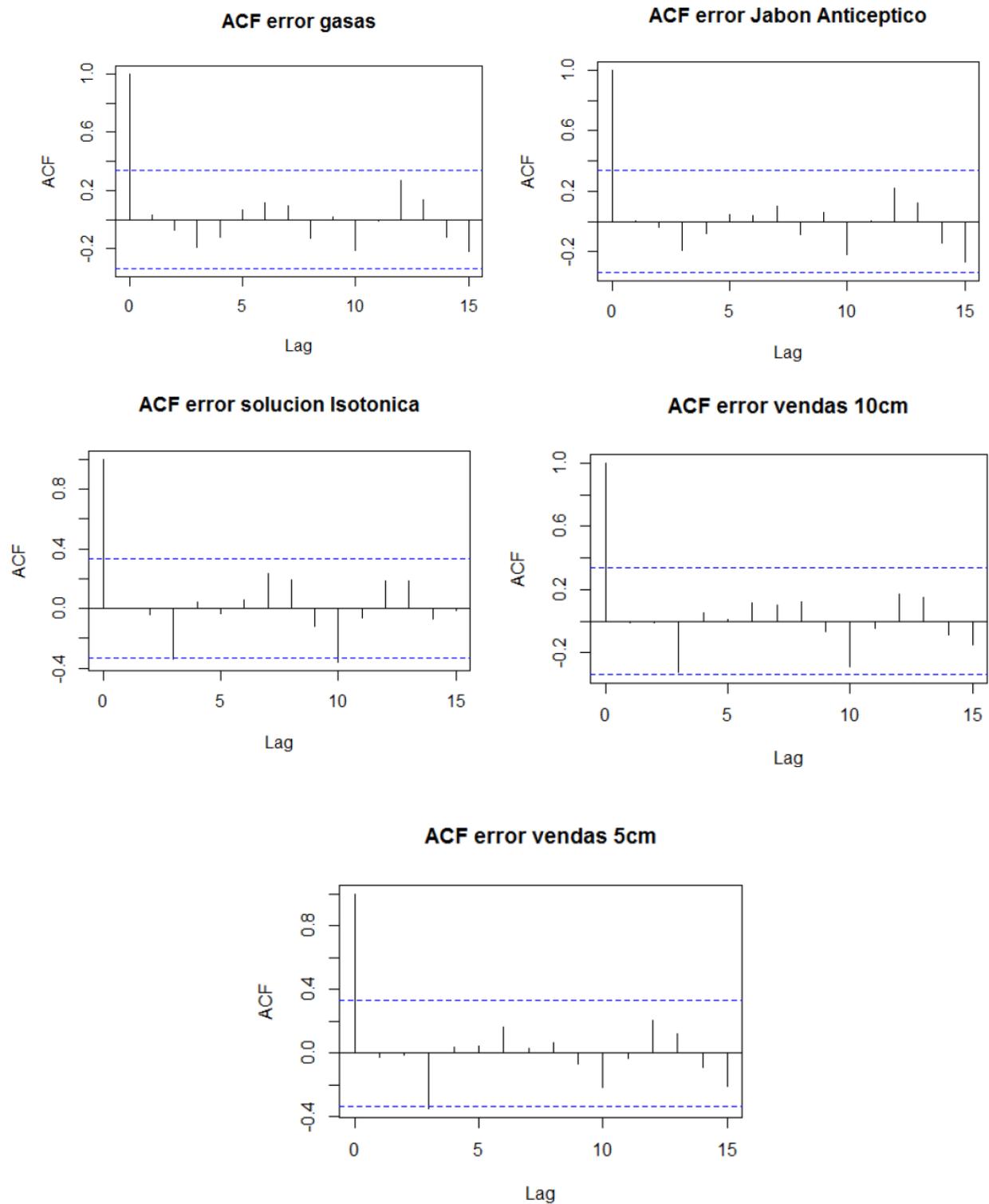


Gráfico 7. ACF erros de los IAMs del grupo 1. Realizado con R

Como se puede ver en ninguna de las series el residual tiende a salirse de los límites, por lo que se deduce que con $p=2$ se filtra bien la serie. Ya comprobado lo anterior, se puede hacer el pronóstico de las series del grupo 1, se pronostican 6 periodos (meses). Si se requiere conocer el pronóstico de los demás grupos ver el (Anexo 1)

```
```{r, echo=FALSE}
tc.grupo1<-predict(grupo1.var, n.ahead = 6,level=c(99.9))
tc.grupo1
plot(tc.grupo1)
```

### Pronóstico para gasas

	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
Jan 2017	7.349031	0.2451612	14.45290
Feb 2017	8.283799	1.1799294	15.38767
Mar 2017	11.596965	4.4930955	18.70083
Apr 2017	9.426140	2.3222700	16.53001
May 2017	10.511493	3.4076237	17.61536
Jun 2017	7.752946	0.6490762	14.85682

Pronóstico para vendas de 10cm

	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
Jan 2017	43.56705	-4.785198	91.91931
Feb 2017	56.80320	8.450951	105.15545
Mar 2017	69.69560	21.343347	118.04785
Apr 2017	61.35465	13.002398	109.70690
May 2017	61.29531	12.943060	109.64756
Jun 2017	58.54263	10.190377	106.89488

### Pronóstico para vendas de 5cm

	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
Jan 2017	25.65227	-26.23236	77.53691
Feb 2017	36.30685	-15.78011	88.39381
Mar 2017	41.76127	-10.53842	94.06095
Apr 2017	40.55864	-11.83402	92.95130
May 2017	38.68924	-13.77558	91.15406
Jun 2017	34.46181	-17.99047	86.91410

### Pronóstico para jabón anticéptico

	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
Jan 2017	0.1671544	-0.24585405	0.5801629
Feb 2017	0.3121971	-0.10459965	0.7289938
Mar 2017	0.3143916	-0.10375359	0.7325368
Apr 2017	0.3342975	-0.08604006	0.7546350
May 2017	0.2977806	-0.12222796	0.7177892
Jun 2017	0.2936751	-0.12757344	0.7149236

## Pronóstico para solución isotónica

	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
Jan 2017	6.069485	-2.060843	14.19981
Feb 2017	11.497552	3.324028	19.67107
Mar 2017	13.283432	5.011310	21.55555
Apr 2017	12.999435	4.616662	21.38221
May 2017	11.375156	2.930785	19.81953
Jun 2017	11.569607	2.955684	20.18353

Las gráficas de las series de tiempo considerando el pronóstico de cada uno de los IAMs del grupo 1 se presentan a continuación, si se requiere ver las gráficas de los pronósticos de los demás IAMs ver (Anexo 1)

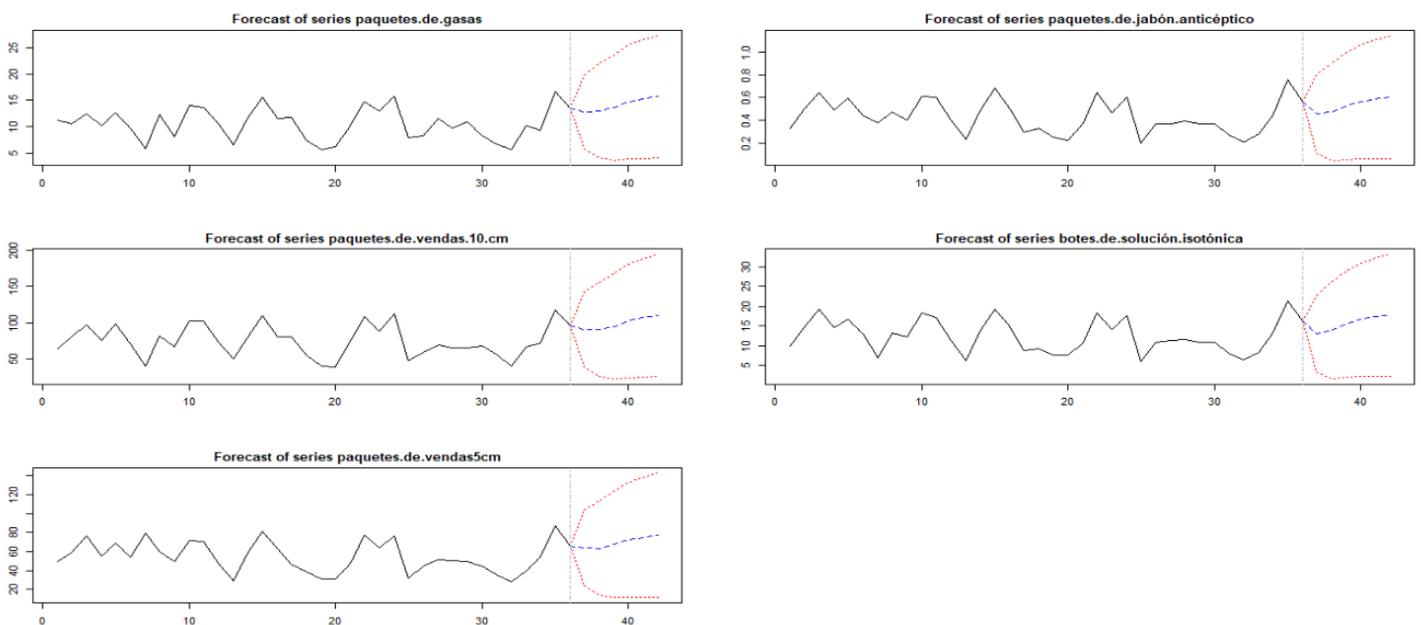


Gráfico 8. Pronóstico de los IAMs del grupo 1 con VAR. Realizado con R

### Pronóstico con Holt-Winters y ARIMAS

Para determinar el método de pronóstico a utilizar para cada una de las series de IAMs, se comparan los errores de cada uno de los métodos de pronóstico y el de menor error es el método empleado. Se toman dos años de demanda para realizar el pronóstico y comparar dicho pronóstico con el tercer año de demanda real. De manera ilustrativa se hace el análisis con la serie de tiempo de la demanda de "guantes de latex". Como se realizó en el proceso anterior, se cargan las librerías y la serie correspondiente.

```
library("forecast")
library("tseries")
datos1<-read.csv(file="C:/Users/adm/Documents/LUIS/4to semestre maestría/proyecto
a<-datos1[,1]
ats<-ts(a,frequency=12,start = c(2014,1))
plot.ts(ats,main="guantes de latex",xlab="Tiempo", ylab="guantes de latex")
```

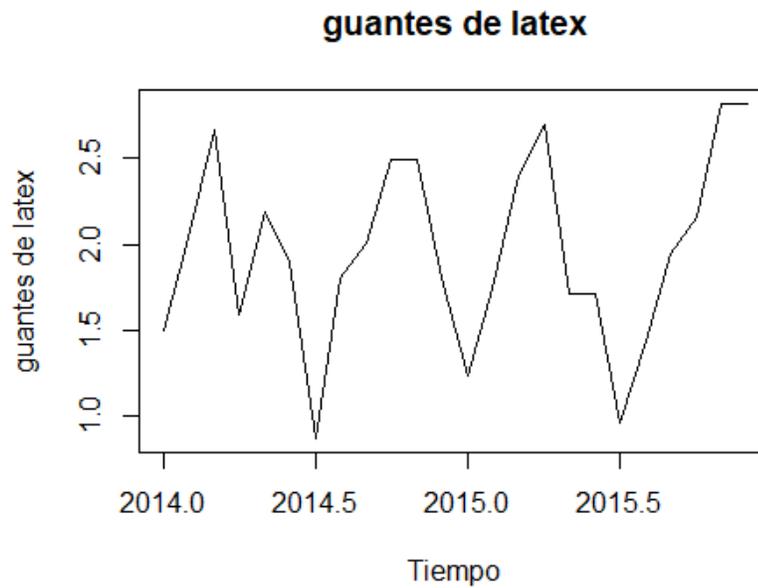


Gráfico 9. Serie de tiempo de guantes de latex. Realizado con R

### Pronóstico con Holt-winters

Se realiza el pronóstico con el método Holtwinter, considerando un intervalo de confianza del 99.9 % y 11 periodos a pronosticar. Se extrae el vector de pronóstico para su posterior comparación con el vector de datos reales.

```
aHW<-holtwinters(ats,seasonal="multiplicative")
aHW2<-forecast(aHW,h=11,level=c(99.9))
aHW2
plot(aHW2,main="Pronóstico de demanda de guantes de latex",
 ylab="guantes de latex")
aHWvec<-as.vector(aHW2$mean)
```

	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
Jan 2016	1.2086141	1.0890880	1.328140
Feb 2016	1.7164738	1.5969477	1.836000
Mar 2016	2.3840293	2.2645031	2.503555
Apr 2016	2.6992920	2.5797659	2.818818
May 2016	1.7071897	1.5876636	1.826716
Jun 2016	1.6599761	1.5404500	1.779502
Jul 2016	0.8497699	0.7302438	0.969296
Aug 2016	1.7215143	1.6019882	1.841040
Sep 2016	1.9754003	1.8558742	2.094926
Oct 2016	2.3784261	2.2589000	2.497952
Nov 2016	2.4107203	2.2911942	2.530246

## Pronóstico de demanda de guantes de latex



Gráfico 10. Pronóstico de demanda de paquetes de guantes de latex prueba Holt Winters.  
Realizado con R

### Pronóstico con ARIMA

Se realiza el pronóstico con el método ARIMA, considerando un intervalo de confianza del 99.9 % y 11 periodos a pronosticar. Se extrae el vector de pronóstico para su posterior comparación con el vector de datos reales.

```
aA<-auto.arima(ats)|
aApron<-forecast(aA, h=11, level=c(99.9))
```

Se comprueba que con la función “auto.arima” predeterminada en R, los errores no covarien entre sí, considerando que los valores ( $p, d, q$ ) que arroja esta función son los más adecuados.

```
ares<-residuals(aA)
par(mfrow=c(2,1)) |
Acf(ares, main="función de autocorrelación")
pacf(ares, main="función de autocorrelación parcial")
```

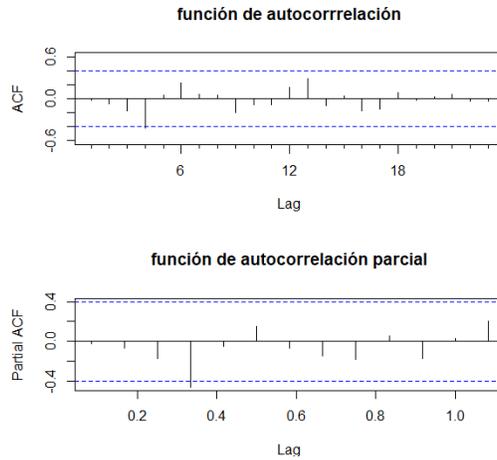


Gráfico 11. Función de autocorrelación para guantes de latex. Realizado con R

Se comprueba que no hay covarianza en ninguno de los periodos, ya que para cualquier periodo los errores permanecen dentro de los límites. Por lo que se puede realizar el pronóstico con el método ARIMA propuesto.

	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
Jan 2016	2.196265	0.50891406	3.883617
Feb 2016	1.961397	0.09319764	3.829595
Mar 2016	1.961397	0.09319764	3.829595
Apr 2016	1.961397	0.09319764	3.829595
May 2016	1.961397	0.09319764	3.829595
Jun 2016	1.961397	0.09319764	3.829595
Jul 2016	1.961397	0.09319764	3.829595
Aug 2016	1.961397	0.09319764	3.829595
Sep 2016	1.961397	0.09319764	3.829595
Oct 2016	1.961397	0.09319764	3.829595
Nov 2016	1.961397	0.09319764	3.829595

### Pronóstico demanda de guantes de latex con ARIMA

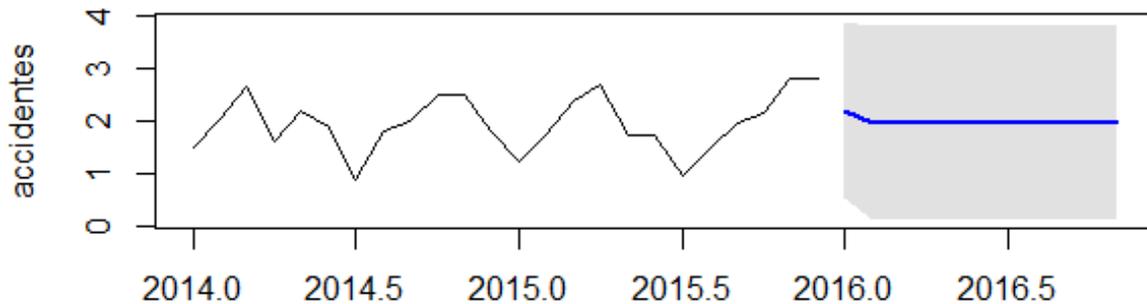


Gráfico 12. Pronóstico de demanda de paquetes de guantes de latex prueba ARIMA. Realizado con R

Se realiza la comparación de los dos métodos, considerando el promedio de los errores.

```
datos2<-read.csv(file="C:/Users/adm/Documents/LUIS/4to semestre maestría
/proyecto de investigación/HW ARIMA G. latex/prueba guantes de la
pba<-datos2[,1]
pa<-c(pba)
```

```
difHwa<- abs(pa-aHwvec)
ErrorHwa<-mean(difHwa)
ErrorHwa
```

```
difaARIMA<- abs(pa-aarimavec)
ErrorARIMAA<-mean(difaARIMA)
ErrorARIMAA
```

Promedio de Error con HoltWinters=0.3717492

Promedio de Error con ARIMA=0.5922404

Se observa que el método que presenta el error es más pequeño es el Holt-winters, por lo que es el método que mejor se ajusta a los datos. Entonces, el método seleccionado para realizar el pronóstico es Holt-Winter.

Se realiza el pronóstico del IAM “guantes de latex” con el método Holt-Winters, esto de manera ilustrativa para seguir con el proceso, se pronostican 6 periodos (meses) con un intervalo de confianza del 99.9%. Se consideran 2 maneras de presentación de los datos, el primero es el pronóstico junto con los intervalos de confianza y el segundo es la gráfica de la serie de tiempo junto con el pronóstico. Si se quiere indagar más en el pronóstico de los demás IAMs, ver el (Anexo 1). Adicionalmente se extrae el pronóstico en un vector para que al finalizar el proceso se pueda crear la base de datos del pronóstico de la demanda de cada IAM.

```
datos1<-read.csv(file="C:/Users/adm/Documents/LUIS/4to semestre
maestría/proyecto de investigación/Demanda insumos médicos por
empaquete.csv",header = TRUE)

...
```{r, echo=F}
a<-datos1[ ,6]
ats<-ts(a,frequency=12,start = c(2014,1))
plot.ts(ats,main="paquetes de guantes de latex",xlab="Tiempo", ylab="paquetes de
guantes de latex")
aHW<-Holtwinters(ats,seasonal="multiplicative")
aHW2<-forecast(aHW,h=6,level=c(99.9))
aHW2
plot(aHW2, main="Pronóstico de demanda de paquetes de guantes de latex",
ylab="paquetes de guantes de latex")
aHWpron<-as.vector(aHW2$mean)
aHWup<-as.vector(aHW2$upper)
```

Pronóstico de la demanda de paquetes de guantes de latex

	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
Jan 2017	1.148630	-0.1576879	2.454948
Feb 2017	1.443110	0.1367917	2.749427
Mar 2017	1.825923	0.5196056	3.132241
Apr 2017	1.590275	0.2839572	2.896593
May 2017	1.806187	0.4998687	3.112504
Jun 2017	1.649079	0.3427617	2.955397

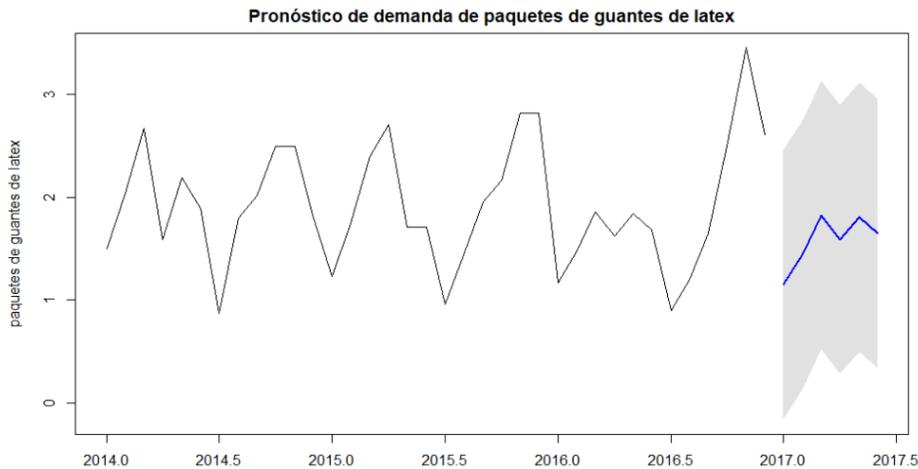


Gráfico 13. Pronóstico de demanda de paquetes de guantes de latex. Realizado con R

4.2 Análisis ABC-VED

En el subcapítulo anterior se realizó el pronóstico con ayuda del software R, para realizarlo se ingresaron algunos parámetros que determinan la respuesta a la salida. Uno de estos parámetros fue el intervalo de confianza que tendrá el pronóstico de los datos a lo largo del tiempo. Para establecer este intervalo de confianza es necesario relacionarlo con el nivel de servicio que se desea tener en cada IAM, es decir, considerar el intervalo de confianza como el stock de seguridad para evitar un desabasto de IAMs provocado por la incertidumbre del pronóstico de la demanda.

Análisis ABC

Primero se realiza el análisis ABC, como se dijo anteriormente sólo se contempla la demanda de los productos. Esta demanda tiene que estar estandarizada debido a la diversidad de productos que se tienen y las unidades en las que se presentan, es decir, es diferente comparar 10 litros de oxígeno con 10 ampollas de atropina. Para esto se emplea la siguiente fórmula

$$demanda\ normalizada\ del\ IAM = \frac{\sum_{i=1}^{número\ de\ periodos} demanda\ del\ IAM}{\frac{maximo\ valor\ de\ la\ demanda}{número\ de\ periodos}} \dots \dots \dots (27)$$

Se realiza la clasificación ABC, considerando que la clasificación A representa el 60% de la demanda, la clasificación B representa el 30% de la demanda, mientras que la clasificación C representará el 10% de la demanda. Se presenta un diagrama de Pareto (Gráfico 14) que permite identificar el acumulado de la demanda y cuántos IAMs representa cada porcentaje.

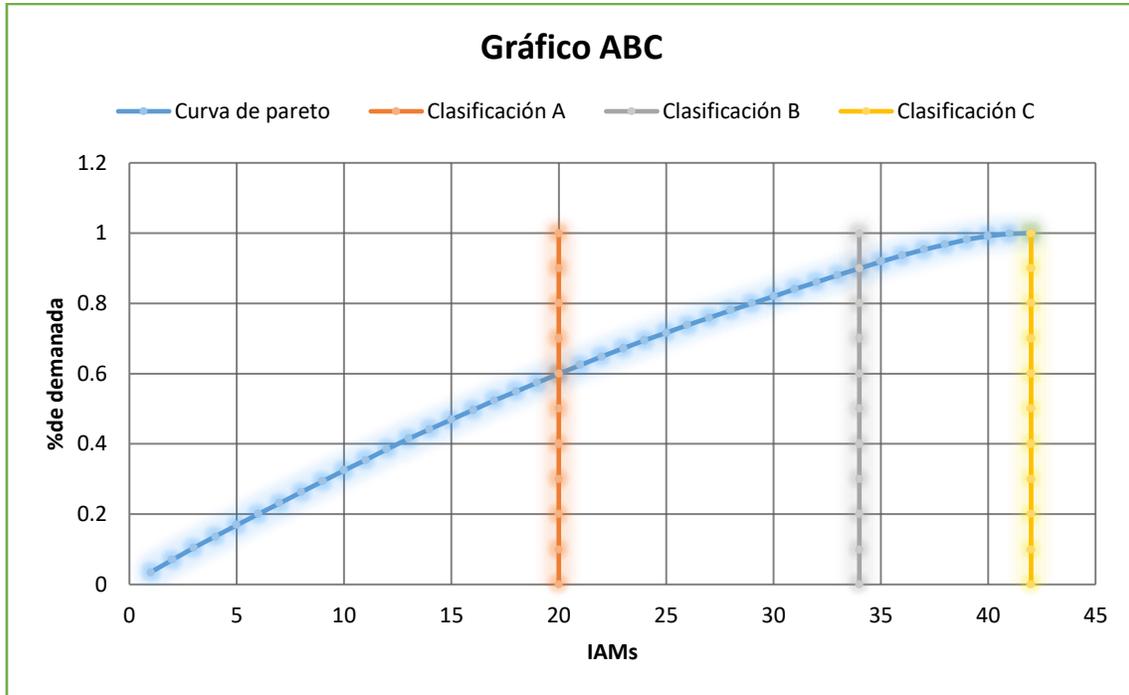


Gráfico 14. Gráfico ABC. Elaboración propia realizado con Excel

Análisis ABC-VED

Para el análisis VED se solicita ayuda a expertos en el campo para determinar la clasificación del IAM, se llena una tabla que clasifica a estos productos. Para efectos prácticos se hace de manera conjunta la presentación de los análisis ABC y VED en la siguiente tabla. Donde en la primer columna se especifica el número del IAM, en la segunda se denota el nombre del IAM, en la tercera se colocan los resultados arrojados por el análisis ABC, en la cuarta columna se colocan la clasificación de cada uno de los IAMs de acuerdo a su criticidad y en función de la opinión de expertos, para que en la última columna se establezca la categoría ABC-VED a la que pertenece cada IAM.

#	IAM	Clasificación ABC	Clasificación VED	Categoría ABC-VED
1	vendas 10 cm[pieza]	A	E	I
2	gasas	A	E	I
3	vendas5cm[pieza]	A	E	I
4	oxígeno[l]	A	V	I
5	solución isotónica[ml]	A	V	I
6	Tela adhesiva[cm]	A	D	I
7	jabón anticéptico[ml]	A	V	I
8	Venuset	A	V	I
9	Punzocat20	A	E	I
10	diclofenaco[ampolleta]	A	V	I
11	Punzocat22	A	E	I
12	guantes de latex[pares]	A	V	I
13	Nalbufina[ampolleta]	A	V	I
14	canal nasal	A	V	I
15	tubo orotraqueal	A	V	I
16	electrodos	A	E	I
17	maskarilla facial	A	V	I
18	ketorolaco[ampolleta]	A	E	I
19	NaCl[ml]	A	E	I
20	reservorio	A	V	I
21	glucosa5%[ml]	B	V	I
22	Bicarbonato de sodio[Ampula]	B	V	I
23	expansores de plasma[ml]	B	V	I
24	Butilioscina[ampula]	B	V	I
25	Hartmann[ml]	B	V	I
26	maskarilla de laringea	B	V	I
27	atropina[ampolletas]	C	V	I
28	Adrenalina[ampolleta]	C	V	I
29	Jeringa	C	V	I
30	fijador de tubo	C	V	I
31	Paquete venopunción	B	E	II
32	Punzocat18	B	E	II
33	canula de yankawer	B	E	II
34	Midasolam[ampolletas]	B	E	II
35	Difenilhidantoina [ampolleta]	B	E	II
36	diasepam[ampolleta]	B	E	II
37	Punzocat14	B	E	II
38	Punzocat16	B	E	II
39	Metamisol[Ampula]	C	E	II
40	guantes de poliuretano[pares]	C	E	II
41	Apósitos	C	E	II
42	papel de registro[cm]	C	D	III

Tabla 10. Clasificación ABC-VED. Elaboración propia realizado con Excel

Se estructura la siguiente tabla que relaciona las categorías con el nivel de servicio.

Análisis ABC-VED Categoría	Nivel de servicio	Intervalo de confianza para pronóstico
I	99.90%	99.90%
II	99%	99%
II	95%	95%

Tabla 11. Categoría-Nivel de servicio. Elaboración propia realizado con excel

4.3 Formulación del modelo matemático

Considerando la descripción del sistema del capítulo anterior, se propone la siguiente modelo de optimización para el inventario para el SAPH.

4.3.1 Definición de la función objetivo

La función objetivo está orientada a la minimización de los costos que se consideran dentro de la administración del inventario, los costos se determinan de la siguiente manera:

Costos de ordenar

Se considera la suma total de los costos operativos mensuales que intervienen en hacer una orden de cierta cantidad de cada IAM. Este costo se denota como

$$A_i$$

Siendo A el costo de ordenar en el periodo (mes) i .

Costo de almacenaje

Para determinar este costo, se considera la siguiente gráfica del inventario

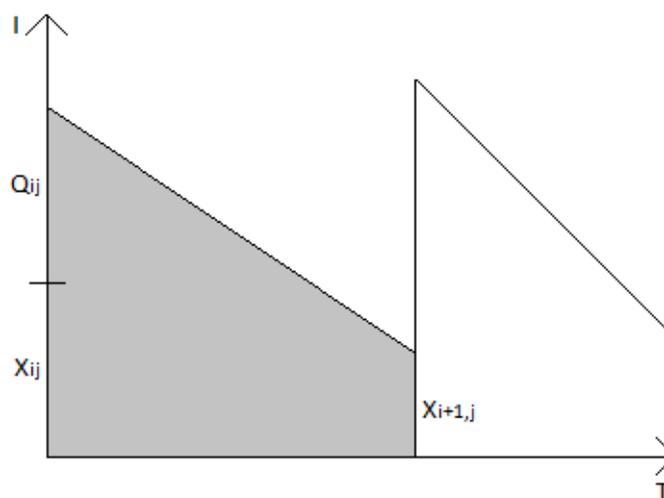


Gráfico 15. Nivel del inventario. Elaboración propia realizado con Pain

Se establece que el inventario promedio de cada IAM a lo largo de un periodo (mes) es el área sombreada del gráfico anterior, es decir, al principio del día uno se tiene en inventario $X_{ij} + Q_{ij}$, para el segundo día se tiene en inventario $X_{ij} + Q_{ij}$ menos cierta cantidad de IAMs ocupados al término del día uno, este proceso se repite hasta el término del mes cuando se resurte el inventario. Se observa que al final del periodo sobra en inventario $X_{i+1,j}$, por lo tanto, para determinar el área es necesario determinar la ecuación de la recta para después realizar la integral.

Ec. De la recta

$$I = \frac{X_{ij} + Q_{ij} - X_{i+1,j}}{0 - 1} T + X_{ij} + Q_{ij} \dots \dots \dots (27)$$

$$I = (-X_{ij} - Q_{ij} + X_{i+1,j})T + X_{ij} + Q_{ij}$$

Se realiza la integral

$$\int_0^1 ((-X_{ij} - Q_{ij} + X_{i+1,j})T + X_{ij} + Q_{ij})dT$$

$$\left[-\frac{X_{ij}T^2}{2} - \frac{Q_{ij}T^2}{2} + \frac{X_{i+1,j}T^2}{2} + X_{ij}T + Q_{ij}T \right]_0^1$$

$$-\frac{X_{ij}}{2} - \frac{Q_{ij}}{2} + \frac{X_{i+1,j}}{2} + X_{ij} + Q_{ij}$$

Reduciendo y ordenando términos semejantes,

$$\frac{X_{ij} + Q_{ij} + X_{i+1,j}}{2} \dots \dots \dots (28)$$

De la teoría de inventarios se sabe que

$$T = \frac{Q}{D} \dots \dots \dots (29)$$

Para el caso que se aborda en esta tesis la ecuación anterior queda

$$T = \frac{Q + X}{D}$$

Despejando la demanda

$$D = \frac{Q + X}{T}$$

Considerando el análisis mensual establecido, T igual a 1 periodo

$$D_{ij} = Q_{ij} + X_{ij} \dots (30)$$

Sustituyendo (30) en (28) se obtiene finalmente el Inventario a lo largo de 1 periodo

$$\frac{D_{ij}}{2} + \frac{X_{i+1,j}}{2} \dots \dots \dots (31)$$

Ya que se obtuvo el inventario a lo largo de un periodo, simplemente se multiplica por el costo de mantener en inventario h_j del IAM j a lo largo de un periodo

$$\frac{D_{ij}}{2} h_j + \frac{X_{i+1,j}}{2} h_j \dots \dots \dots (32)$$

Costo de compra

Determinado por la cantidad Q_{ij} que se mandará a pedir para reabastecer el inventario del IAM j en el periodo i multiplicado por el costo de compra c_j de cada paquete de IAMs. También se considera una variable binaria z_{ij} que determina si se manda a pedir o no el IAM j en el periodo i

$$c_j Q_{ij} z_{ij} \dots \dots \dots (33)$$

Función objetivo

Considerando los costos anteriores, se estructura la función objetivo

$$\text{Mín } Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \left(A_i + \frac{h_j D_{ij}}{2} + \frac{h_j X_{i+1,j}}{2} + c_j Q_{ij} z_{ij} \right) \dots \dots \dots (34)$$

Se minimiza los costos que intervienen en la administración del inventario, siendo el primer término es el costo de ordenar en el periodo j , el segundo y el tercer término son el costo de almacenaje del IAM i en el periodo j , finalmente el cuarto término se refiere al costo de compra del IAM i en el periodo j . Cabe destacar que se trata de un programa de optimización no lineal, ya que existe una multiplicación de 2 variables de decisión en el último término.

4.3.2 Definición de las restricciones

$$\sum_{j=1}^n c_j Q_{ij} z_{ij} \leq C_i \quad i = 1, \dots, m \dots \dots \dots (35)$$

$$X_{i+1,j} = X_{ij} + z_{ij} Q_{ij} - D_{ij} \quad i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, m \dots \dots \dots (36)$$

$$X_{ij} + z_{ij} Q_{ij} \geq D_{ij} + Z_{\alpha-1} \sigma_{ij} \quad i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, m \dots \dots \dots (37)$$

$$X_{ij} \geq 0 \dots \dots \dots (38)$$

$$Q_{ij} \geq 0 \text{ entera} \dots \dots \dots (39)$$

$$z_{ij} = \{0,1\} \dots \dots \dots (40)$$

En la primera restricción se considera el presupuesto mensual destinado a la compra de IAMs, la segunda restricción se estructura para la coordinación del nivel del inventario de cada IAM por periodo de tiempo, mientras que la tercer restricción considera el stock de seguridad que se tiene que tener para cumplir con el nivel de servicio determinado. Las últimas 3 restricciones representan la naturaleza de las variables de decisión.

4.3.3 Parámetros

C_i = presupuesto destinado a la compra de IAMs para el periodo i

D_{ij} = demanda del IAM j en el periodo i

c_j = costo de compra del IAM j

$h_{ij} = ic_j$ = costo total de mantener el inventario[%] * costo de compra del IAM j

A_i = costo de ordenar en el periodo i

C_i = presupuesto destinado para el periodo i

σ_{ij} = desviación estandar del artículo j en el periodo i

$Z_{\alpha-1,j}$ = nivel de servicio del artículo j

4.3.4 Variables de decisión

Q_{ij} = cantidad de pedir del IAM j en el periodo i

X_{ij} = nivel de inventario del inventario del IAM j en el periodo i

$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si se compra el IAM } j \text{ en el periodo } i \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$

4.4 Derivar las soluciones del modelo

Se implementa el AG estandar propuesto en MATLAB, considerando las adaptaciones a los pasos de cruce y el manejo de restricciones, presentando exclusivamente el pseudocódigo. Posteriormente se realiza la derivación de las soluciones a través de la variación de los parámetros del AG como son: probabilidad de cruce, probabilidad de mutación y las penalizaciones de las restricciones con base en un diseño de experimentos. Finalmente se escogen las mejores soluciones de cada experimento en función de la función fitness.

Adicionalmente se realiza otro diseño de experimentos considerando el presupuesto, el costo de mantener y el costo de ordenar.

4.4.1 Algoritmos

A continuación, se presenta el pseudocódigo del algoritmo genético, así como los algoritmos de la función fitness y las restricciones.

Algoritmo: Algoritmo genético para determinar la cantidad de IAMs a ordenar mensualmente

Editor: Luis Enrique Vázquez

Variables:

Pob_Real: cantidad a ordenar de cada IAM en cada periodo 200x252; es una variable entera

z: decisión de ordenar de cada IAM en cada periodo 6x42; es una variable binaria

nivelInv: nivel de inventario de cada IAM en cada periodo 7x42; es una variable real

Constantes:

N: número de individuos=200

V: número de variables de Pob_Real=252

demanda: matriz de demanda de 6 periodos por 42 productos

upper: nivel de inventario considerando stock de seguridad de 6 periodos por 42 productos

costos: costo de compra de cada producto 1x42

presupuesto: presupuesto mensual de compra 1x6

costoOrdenar: costo de ordenar realizar una orden 1x6

nivellnicial: Nivel de inventario para el periodo 1x42

l= Intervalo de solución 42x2

Iter_max=iteraciones máximas=100

Prob_mut=probabilidad de mutación=0.07

Prob_cruce=probabilidad de cruce=0.6

INICIO

crear: mejorsol=NaN(Iter_max+1,V)

crear: mejorobj=NaN(Iter_max+1,1)

Pob_Real2←crea_real(N,V,l)

Pob_Real←redondear(Pob_Real2)

ff←FuncionIAM(costos,Pob_Real,presupuesto,nivellnicial,demanda,upper,costoOrdenar)

[mejorobj(1),idy] ←escoger_mínimo(ff) #primer término es el valor el segundo es el índice

mejorsol(1,:) ←Pob_Real(idy,:)

Cont←1

Mientras(cont<=Iter_max)

PobSel←Torneo(Pob_Real,ff)

Pob_Sel←cruzaReal(PobSel,Prob_cruce)

Pob_Sel←muta_real(Pob_Sel,Prob_mut)

Pob_Real←redondear(Pob_Sel)

ff←FuncionIAM(costos,Pob_Real,presupuesto,nivellnicial,demanda,upper,costoOrdenar)

[mejorobj(cont+1),idy] ←escoger_mínimo(ff) #primer término es el valor el segundo es el índice

mejorsol(cont+1,:) ←Pob_Real(idy,:)

cont←cont+1

graficar:mejorsol

Fin_mientras

[N , M] ←escoger_mínimo(mejorobj) #primer término es el valor el segundo es el índice

[z , nivellnv] ←llamar_variables('restriccion2y3',upper,nivellnicial,demanda,Pob_Real2)

funcion_objetivo←N

mejores_variables←mejorsol(M,:)

mejores_ordenados←reacomodar_a_matriz(mejores_variables,[42,6])

mejores_transpuestos←transponer(mejores_ordenados)

EOQ_IAM←mejores_transpuestos.*z

mostrar:EOQ_IAM

FIN

Algoritmo: Restricción 1

Editor: Luis Enrique Vázquez

Variables:

difpresup: diferencia entre el presupuesto y el costo de compra; es una variable real

Constantes:

Pob_Real: cantidad a ordenar de cada IAM en cada periodo 200x252; es una variable entera

costos: costo de compra de cada producto 1x42

presupuesto: presupuesto mensual de compra 1x6

demanda: matriz de demanda de 6 periodos por 42 productos

upper: nivel de inventario considerando stock de seguridad de 6 periodos por 42 productos

nivelInicial: Nivel de inventario para el periodo 1x42

INICIO

[h , n] ← calcular_tamaño(Pob_Real)

[z , nivelInv] ← llamar_variables('restriccion2y3', upper, nivelInicial, demanda, Pob_Real)

difpresup ← generar_zeros(h,1)

Para (i=1 hasta 6)

 aux ← 0

 Para (j=1 hasta 42)

 aux ← aux(j)*Pob_Real(i,j).*z(i,j)

 Fin_Para

 difpresup(i) ← aux-presupuesto(i)

Fin_Para

FIN

Algoritmo: Restricción 2 y 3

Editor: Luis Enrique Vázquez

Variables:

z: decisión de ordenar de cada IAM en cada periodo 6x42; es una variable binaria

nivelInv: nivel de inventario de cada IAM en cada periodo 7x42; es una variable real

Constantes:

Pob_Real: cantidad a ordenar de cada IAM en cada periodo 200x252; es una variable entera

demanda: matriz de demanda de 6 periodos por 42 productos

upper: nivel de inventario considerando stock de seguridad de 6 periodos por 42 productos

nivelInicial: Nivel de inventario para el periodo 1x42

INICIO

$[N, M] \leftarrow \text{calcular_tamaño}(\text{upper})$

$z \leftarrow \text{generar_zeros}(N, M)$

$\text{nivel2} \leftarrow \text{generar_zeros}(N+1, M)$

$\text{nivel2}(1, :) \leftarrow \text{nivel}(1, :)$

Para (i=1 hasta N)

Para(j=1 hasta M)

Si($\text{nivel2}(i, j) \geq \text{upper}(i, j)$)

$z(i, j) \leftarrow 0$

$\text{nivel2}(i+1, j) \leftarrow \text{nivel2}(i, j) - \text{demanda}(i, j)$

en otro caso

$z(i, j) \leftarrow 1$

$\text{nivel2}(i+1, j) \leftarrow \text{nivel2}(i, j) + \text{Pob_Real}(i, j) - \text{demanda}(i, j)$

Fin_Si

Fin_Para

Fin_Para

$\text{nivelInv} \leftarrow \text{nivel2}(1:N+1, :)$

FIN

Algoritmo: función fitness

Editor: Luis Enrique Vázquez

Variables:

funcionff: función fitness considerando la función objetivo; es una variable real

Constantes:

Pob_Real: cantidad a ordenar de cada IAM en cada periodo 200x252; es una variable entera

costos: costo de compra de cada producto 1x42

presupuesto: presupuesto mensual de compra 1x6

demanda: matriz de demanda de 6 periodos por 42 productos

upper: nivel de inventario considerando stock de seguridad de 6 periodos por 42 productos

nivelInicial: Nivel de inventario para el periodo 1x42

costoOrdenar: costo de ordenar realizar una orden 1x6

INICIO

$[u, v] \leftarrow \text{calcular_tamaño}(\text{demanda})$

[a , e] ← **calcular_tamaño**(Pob_Real)

Para (k=1 hasta a)

Pob_R= **reacomodar_a_matriz**(Pob_Real(k,:),[42,6])

Pob_Real2=**transponer**(Pob_R)

[z,nivellnv]←**llamar_variables**('restriccion2y3',upper,nivellnicial,demanda,Pob_Real)

[difpresup] ←**llamar_variables**('restriccion1',costos, presupuesto,
upper,nivellnicial,demanda,Pob_Real)

Para (i=1 hasta u)

aux←0

Para (j=1 hasta v)

aux←aux+.025*costos(j)*(demanda(i,j)/2)+.025*costos(j)*(nivellnv(i+1,j)/2)
+costos(j)*Pob_Real2(i,j)*z(i,j)-30***escoger_minimo**(0,nivellnv(i,j))

Fin_Para

costoperiodo(i) ←aux+costoOrdenar(i)+3000***escoger_maximo**(0, difpresup(i))

Fin_Para

funcionff1(k)=sum(costoperiodo)

funcionff=**transponer**(funcionff1)

Fin_Para

FIN

4.4.2 Solución del modelo

Se presenta una solución del modelo con los parámetros del algoritmo anterior

EOQ salida de Matlab

Columns 1 through 16

10	82	70	0	13	2	1	2	6	98	0	2	4	35	23	9
14	59	43	0	0	2	0	0	2	0	0	3	4	31	0	0
14	0	42	0	14	0	0	1	4	142	0	1	2	38	21	6
14	81	51	1	17	2	0	0	3	133	0	0	3	33	21	0
0	81	63	0	17	3	0	1	5	0	0	0	4	0	24	12
9	93	0	0	0	2	0	1	3	0	0	0	4	41	20	6

Columns 17 through 32

6	0	1	34	25	0	3	0	3	0	3	0	4	2	6	0
6	7	0	43	0	0	0	1	0	0	1	0	4	0	7	0
7	2	1	32	36	0	0	1	1	0	2	0	0	3	0	1
5	0	0	29	26	0	0	0	2	1	3	0	4	2	0	0
3	5	1	33	21	0	0	1	2	1	1	0	6	2	0	0
7	8	0	35	0	0	0	1	2	1	0	0	0	3	3	0

Columns 33 through 42

1	1	2	1	1	1	1	1	2	7
0	0	1	2	0	1	0	1	0	10
0	1	1	2	2	2	2	2	3	0
0	0	0	0	1	0	0	2	0	5
0	1	1	3	2	1	1	2	4	8
0	0	2	0	1	1	0	2	0	0

Imagen 6. Solución del modelo. Realizado con MATLAB

Función fitness

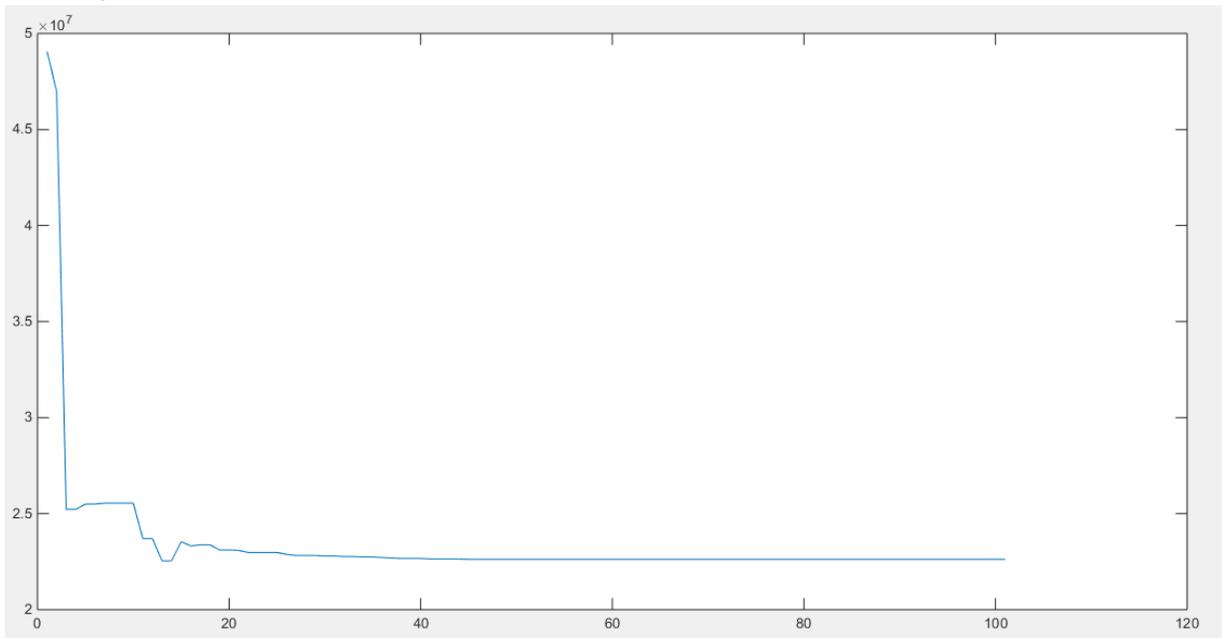


Gráfico 16. Decaimiento de la función fitness. Realizado con MATLAB

En la gráfica anterior se puede notar la reducción de la función fitness conforme pasa el número de generaciones. La solución de la cantidad a ordenar mensualmente se encontró en la generación 100.

Cantidad de paquetes a pedir de cada IAM mensualmente

IAM	Cantidad de paquetes a pedir mensualmente					
	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17
gasas	10	14	14	14	0	9
vendas 10 cm[pieza]	82	59	0	81	81	93
vendas5cm[pieza]	70	43	42	51	63	0
jabón anticéptico[ml]	0	0	0	1	0	0
solución isotónica[ml]	13	0	14	17	17	0
guantes de latex[pares]	2	2	0	2	3	2
guantes de poliuretano[pares]	1	0	0	0	0	0
Tela adhesiva[cm]	2	0	1	0	1	1
Apósitos	6	2	4	3	5	3
papel de registro[cm]	98	0	142	133	0	0
electrodos	0	0	0	0	0	0
mascarilla de laringea	2	3	1	0	0	0
canula de yankawer	4	4	2	3	4	4
canal nasal	35	31	38	33	0	41
mascarilla facial	23	0	21	21	24	20
reservorio	9	0	6	0	12	6
tubo orotraqueal	6	6	7	5	3	7
fijador de tubo	0	7	2	0	5	8
oxígeno[l]	1	0	1	0	1	0
Paquete venopunción	34	43	32	29	33	35
Venoset	25	0	36	26	21	0
Punzocat14	0	0	0	0	0	0
Punzocat16	3	0	0	0	0	0
Punzocat18	0	1	1	0	1	1
Punzocat20	3	0	1	2	2	2
Punzocat22	0	0	0	1	1	1
Hartmann[ml]	3	1	2	3	1	0
expansores de plasma[ml]	0	0	0	0	0	0
NaCl[ml]	4	4	0	4	6	0
glucosa5%[ml]	2	0	3	2	2	3
Jeringa	6	7	0	0	0	3
diasepam[ampolleta]	0	0	1	0	0	0
Midasolam[ampolletas]	1	0	0	0	0	0
atropína[ampolletas]	1	0	1	0	1	0
diclofenaco[ampolleta]	2	1	1	0	1	2
ketorolaco[ampolleta]	1	2	2	0	3	0
Nalbufina[ampolleta]	1	0	2	1	2	1
Adrenalina[ampolleta]	1	1	2	0	1	1
difenilhidantonoina[ampolleta]	1	0	2	0	1	0
Butilhioscina[ampolleta]	1	1	2	2	2	2
Metamizol[ampula]	2	0	3	0	4	0
Bicarbonato de sodio[ampula]	7	10	0	5	8	0

Tabla 12. Una solución de la cantidad a pedir mensual de cada IAM. Elaboración propia realizado con EXcel

4.4.3 Diseño de experimentos

Siguiendo la metodología establecida, se realizan los siguientes diseños de experimentos. En primera instancia, para la derivación de las soluciones del modelo, se realiza un diseño de experimentos factorial considerando 4 factores: probabilidad de mutación, probabilidad de cruza, penalización de la restricción de presupuesto y la penalización de stock de seguridad. Como análisis adicional se determina el parámetro que más influye en la función objetivo, considerando 3 parámetros de variación: presupuesto, el costo de mantener y el costo de ordenar, estos parámetros fueron seleccionados debido a que es posible cambiarlos según las indicaciones del SAPH. Para ambos se establece un diseño de experimentos factorial 2^k , realizando 16 y 8 experimentos respectivamente. Cada experimento constará de 10 corridas, seleccionando el valor mínimo de la función objetivo.

Diseño de experimentos para la derivación de las soluciones

Se presenta la siguiente tabla que estructura la combinación de los parámetros para cada uno de los experimentos, en la última columna se presenta el valor de la función objetivo. Es menester mencionar que existe una diferencia entre la función fitness y la función objetivo del modelo, ésta radica en el manejo de restricciones, ya que la función fitness considera las penalizaciones de las restricciones por lo que no representa el verdadero valor de la función objetivo. Entonces, para la realización de las 10 corridas de cada experimento se considera el valor de la función fitness, ya que los parámetros no cambiarán a lo largo del experimento y sólo se considera la aleatoriedad. Una vez seleccionada la mejor solución de cada experimento de acuerdo con la función fitness, se sustituyen los valores solución en la función objetivo, permitiendo así determinar el valor real de ésta.

Experimento	Probabilidad de cruza	Probabilidad de mutación	Penalización de la restricción de presupuesto	Penalización de la restricción de stock de seguridad	Función objetivo
1	0.6	0.07	2000	30	150800
2	0.6	0.07	2000	50	143790
3	0.6	0.07	3000	30	152210
4	0.6	0.07	3000	50	140460
5	0.6	0.05	2000	30	145070
6	0.6	0.05	2000	50	147550
7	0.6	0.05	3000	30	155510
8	0.6	0.05	3000	50	136540
9	0.8	0.07	2000	30	152400
10	0.8	0.07	2000	50	143510
11	0.8	0.07	3000	30	147860
12	0.8	0.07	3000	50	147450
13	0.8	0.05	2000	30	137900
14	0.8	0.05	2000	50	146290
15	0.8	0.05	3000	30	157210
16	0.8	0.05	3000	50	149850

Tabla 13. Diseño de experimentos factorial para generación de soluciones. Elaboración propia realizado con Excel

Diseño de experimentos para parámetros de costos

Se presenta la siguiente tabla con la variación de los costos del modelo. Al igual que el experimento anterior se realizarán 10 corridas manteniendo los parámetros del Algoritmo genético fijos, se selecciona el menor valor de la función objetivo de cada experimento. Posteriormente, se realiza el análisis del DOE factorial con el software Minitab.

Experimento	presupuesto	% costo de mantener	de costo de ordenar	de Función objetivo
1	20000	0.025	8400	149280
2	20000	0.025	10000	154600
3	20000	0.02	8400	149740
4	20000	0.02	10000	158640
5	15000	0.025	8400	146120
6	15000	0.025	10000	146530
7	15000	0.02	8400	141890
8	15000	0.02	10000	155190

Tabla 14. Diseño de experimentos factorial para análisis de factor más influyente. Elaboración propia realizado con Excel

Para el análisis en Minitab, primero se crea el diseño factorial, introduciendo el nombre de los factores y los niveles alto y bajo de cada factor

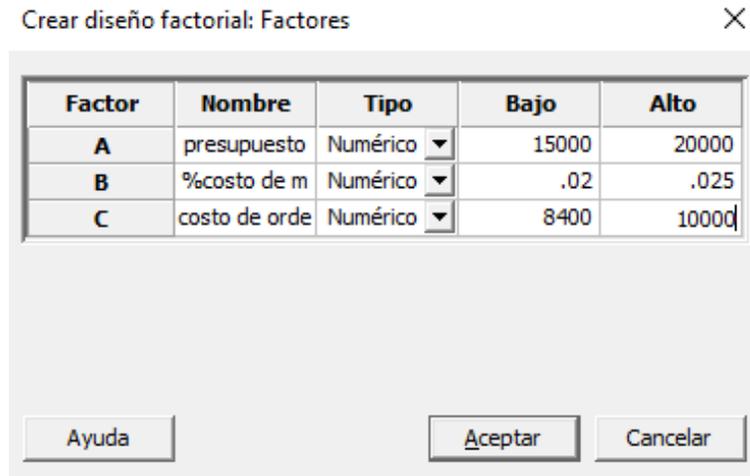


Imagen 7. Niveles altos y bajos. Realizado con MINITAB

Se obtiene la siguiente tabla en la hoja principal de minitab, se agrega a ésta una columna llamada "función objetivo"

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	presupuesto	%costo de mantener	costo de ordenar	Función objetivo
1	1	1	1	1	15000	0.020	8400	141890
2	2	2	1	1	20000	0.020	8400	149740
3	3	3	1	1	15000	0.025	8400	146120
4	4	4	1	1	20000	0.025	8400	149280
5	5	5	1	1	15000	0.020	10000	155190
6	6	6	1	1	20000	0.020	10000	158640
7	7	7	1	1	15000	0.025	10000	146530
8	8	8	1	1	20000	0.025	10000	154600
9								

Imagen 8. Diseño factorial. Realizado con MINITAB

Se realiza el análisis del diseño factorial

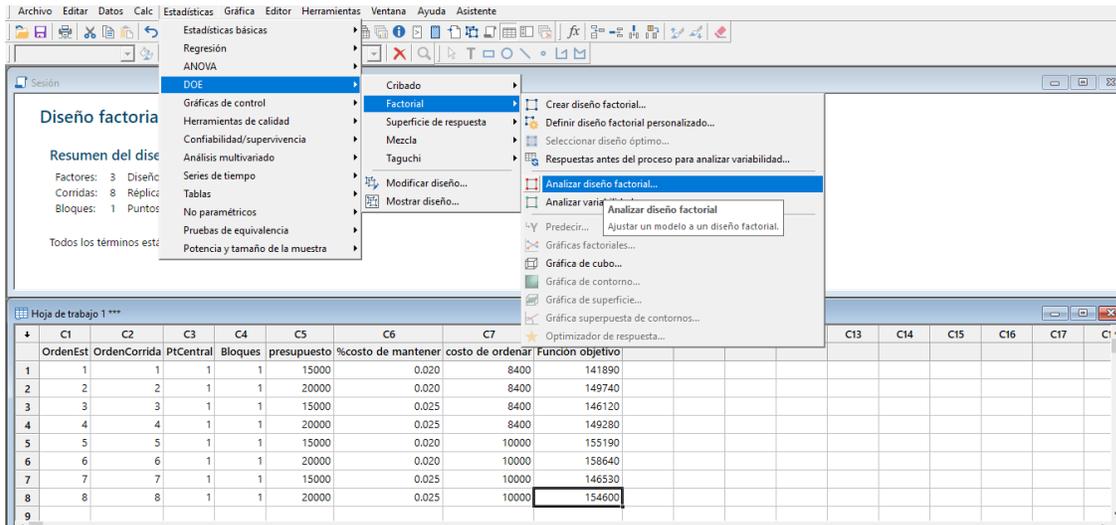


Imagen 9. Realización del análisis del diseño factorial. Realizado con MINITAB

Se obtiene un diagrama de Pareto de los efectos

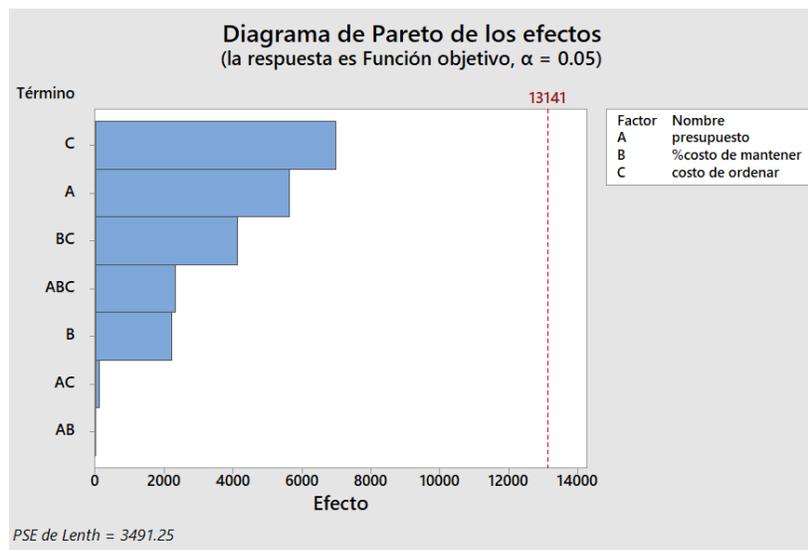


Imagen 10. Diagrama de pareto de los efectos. Realizado con MINITAB

Analizando dichos resultados y, a pesar de que ninguno de los factores fue significativo (que podría intuirse debido a que la respuesta proviene de un proceso donde intervienen variables aleatorias como es el AG) se puede argumentar que el factor que tiene mayor efecto sobre la función objetivo es el costo de ordenar, mientras que el factor que menos tiene efecto es el % de costo de mantener, incluso menor que la interacción de los efectos.

4.5 Pruebas del modelo y de las soluciones

Se ocupa la herramienta de simulación para probar el modelo y las soluciones arrojadas por el AG, evaluando que la política de inventario establecida satisfaga la demanda, permitiendo así seleccionar la solución más adecuada a partir de la experimentación. Para realizar la simulación se ocupa la metodología de Banks para simulación de procesos, así como el software SIMIO para su implementación.

4.5.1 Colocación de objetivos y el plan del proyecto global

Simular el proceso de demanda y de abastecimiento de inventarios de cada uno de los IAMs para validar que las soluciones (cantidad a pedir de cada IAM) determinadas por la solución de AG funcione de manera adecuada. Se presta principal atención al stock de seguridad, verificando en no incurrir en un desabastecimiento de IAMs en algún periodo de tiempo que pueda poner en riesgo el funcionamiento del SAPH.

El plan del proyecto de simulación está delimitado al análisis de entrada, la construcción del modelo computacional, el diseño de experimentos y la obtención de los resultados de la experimentación para su posterior interpretación y análisis.

4.5.2 Conceptualización del modelo

A continuación, se presenta gráficamente el alcance que tendrá la simulación, donde el sistema estará determinado exclusivamente por el inventario de IAM, el input será el suministro de IAM y su salida será la ocupación de dichos IAM por parte de los trabajadores del SAPH en accidentes ocurridos dentro del campus de CU-UNAM.

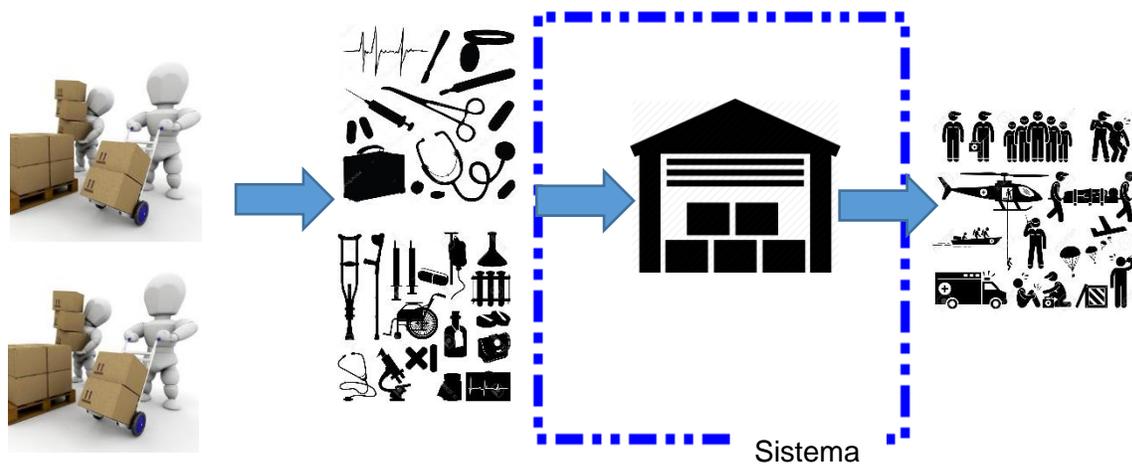


Imagen 11. Delimitación del sistema. Elaboración propia, Imágenes tomadas de Google

Las variable a contemplar son las siguientes:

- **variable de decisión:** cantidad a pedir de IAM mensualmente, stock de seguridad
- **variable de respuesta:** nivel de inventario.
- **variable exógena:** Demanda de cada IAM.
- **variable de desempeño:** nivel del inventario, se monitorea el nivel de inventario de cada uno de los IAMs a lo largo del tiempo, esto para determinar qué solución (cantidad a pedir de IAM) obtenida anteriormente con el AG satisface la demanda y siempre tiene inventario disponible.

Modelo conceptual

Para la descripción del modelo conceptual, se desarrolla un diagrama de flujo que permita mostrar la estructuración del modelo de simulación. Antes de dicho desarrollo, se establecen algunas consideraciones:

- Cada mes se mandarían a pedir cierta cantidad Q de cada IAM, determinada previamente por la solución del Algoritmo genético.
- La demanda será considerada una función de probabilidad uniforme mensual, los parámetros de dicha función están determinados por la demanda mínima y máxima para cada mes. Esta determinación se tomó debido a que, si se ajusta una función de probabilidad a toda la serie, ésta no representa la demanda adecuadamente.
- Para simular el primer mes, se considera la cantidad a ordenar más el nivel de inventario inicial para ese mes.
- Una vez usados los IAM, salen del sistema.
- Se considera un reabastecimiento inmediato
- Se realiza la simulación por 6 meses

A continuación, se realiza un diagrama de flujo de la simulación del proceso de inventario del SAPH



Imagen 12. Diagrama de flujo de la simulación. Elaboración propia realizado con Microsoft Visio

4.5.3 Recolección y procesamiento de datos

Los datos necesarios para ejecutar la simulación son: la demanda y cantidad a pedir de cada IAM mensualmente

Demanda

La recolección de los datos se basó en la elaboración de bases de datos realizada a través de las hojas de registro de accidentes e información proporcionada por los paramédicos que trabajan el departamento de SAPH. Se tomaron 3 años de datos para poder determinar la demanda (apartado

4.1), esta demanda es filtrada para el modelo de simulación considerando los datos de demanda mínimos y máximos mensualmente para poder estructurar la función de distribución uniforme.

IAM	DEMANDA MENSUAL											
	enero		febreo		marzo		abril		mayo		junio	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
gasas	6.60	11.29	8.24	11.52	11.62	15.56	9.60	11.66	10.89	12.71	7.36	9.64
vendas 10 cm[pieza]	48.00	64.00	59.00	81.00	69.00	110.00	65.00	81.00	65.00	98.00	55.00	70.00
vendas5cm[pieza]	29.00	49.00	45.00	59.00	51.00	81.00	50.00	63.00	47.00	69.00	39.00	54.00
jabón anticéptico[ml]	0.20	0.33	0.37	0.50	0.36	0.69	0.39	0.50	0.30	0.59	0.32	0.44
solución isotónica[ml]	6.00	10.00	10.75	14.50	11.25	19.25	11.50	14.75	8.75	16.75	9.25	13.00
guantes de latex[pares]	1.17	1.50	1.47	2.04	1.86	2.67	1.59	2.70	1.71	2.19	1.68	1.89
guantes de poliuretano[pares]	0.12	0.30	0.06	0.18	0.12	0.48	0.12	0.24	0.18	0.42	0.06	0.06
Tela adhesiva[cm]	0.51	1.02	0.93	1.35	1.17	1.98	1.05	1.35	0.93	1.47	0.78	1.14
Apósitos	4.00	5.60	1.60	3.20	2.40	5.60	2.40	5.00	4.40	54.40	1.60	4.80
papel de registro[cm]	60.00	63.33	20.00	53.33	83.33	100.00	46.67	83.33	100.00	113.33	30.00	90.00
electrodos	0.12	0.24	0.06	0.17	0.18	0.29	0.09	0.36	0.11	0.29	0.08	0.15
mascarilla de laringea	2.40	3.00	0.40	1.40	1.40	2.60	0.40	3.60	1.20	2.80	1.20	2.20
canula de yankawer	1.40	3.40	1.00	1.60	1.00	5.20	1.60	2.20	1.80	3.60	0.80	1.00
canal nasal	14.50	25.50	22.00	31.50	29.00	51.00	25.00	46.00	25.50	33.50	25.50	34.00
mascarilla facial	6.40	10.20	13.00	19.00	10.00	27.40	13.00	21.00	10.20	23.20	12.40	15.00
reservorio	1.90	4.70	4.00	6.40	6.80	7.40	2.60	9.70	4.50	7.50	3.30	5.10
tubo orotraqueal	4.40	7.60	1.90	3.90	3.60	7.00	2.20	5.90	3.00	7.80	2.50	3.50
fijador de tubo	4.40	7.60	1.90	3.90	3.60	7.00	2.20	5.90	3.00	9.80	2.50	3.50
oxígeno[l]	1.48	2.18	1.56	2.10	2.34	2.80	1.44	2.72	2.21	2.50	1.48	1.85
Paquete venopunción	21.00	28.00	10.00	26.00	18.00	33.00	14.00	40.00	20.00	56.00	14.00	18.00
Venuset	21.00	28.00	10.00	26.00	18.00	33.00	14.00	40.00	20.00	34.00	14.00	18.00
Punzocat14	0.10	0.25	0.05	0.10	0.05	0.40	0.10	0.15	0.10	0.30	0.05	0.05
Punzocat16	0.10	0.25	0.05	0.10	0.05	0.40	0.10	0.15	0.10	0.30	0.05	0.05
Punzocat18	0.63	0.79	0.31	0.44	0.42	0.75	0.21	1.03	0.26	0.74	0.35	0.57
Punzocat20	1.28	1.49	0.61	1.42	1.02	1.53	0.63	2.43	1.06	1.70	0.85	1.17
Punzocat22	0.38	0.47	0.19	0.68	0.38	0.55	0.27	0.87	0.46	0.66	0.31	0.43
Hartmann[ml]	0.70	1.90	0.35	1.10	0.70	3.25	0.70	1.60	1.10	2.35	0.35	0.35
expansores de plasma[ml]	0.15	0.38	0.08	0.15	0.08	0.38	0.08	0.15	0.08	0.45	0.08	0.08
NaCl[ml]	2.00	4.50	2.50	3.50	2.50	4.88	1.75	5.38	3.75	4.75	1.75	2.75
glucosa5%[ml]	1.50	1.83	0.58	2.33	1.67	2.37	0.83	3.88	1.29	1.96	1.29	1.71
Jeringa	1.85	2.18	1.68	2.37	2.64	3.08	1.14	3.30	2.64	2.92	1.62	2.16
diasepam[ampolleta]	0.20	0.60	0.06	0.70	0.10	0.56	0.04	0.80	0.14	0.92	0.04	0.22
Midasolam[ampolletas]	0.20	0.44	0.28	0.62	0.20	1.28	0.16	0.60	0.48	0.86	0.10	0.36
atropína[ampolletas]	0.50	0.63	0.10	0.30	0.32	0.53	0.09	0.80	0.08	0.61	0.25	0.48
diclofenaco[ampolleta]	0.50	0.81	0.72	1.06	0.64	1.50	0.72	0.97	0.67	1.47	0.75	1.02
ketorolaco[ampolleta]	0.83	1.39	1.14	2.14	1.61	2.42	0.97	2.22	1.75	2.72	1.33	1.83
Nalbufina[ampolleta]	0.40	0.77	0.87	1.37	0.67	2.10	0.97	1.57	0.77	1.67	0.93	1.20
Adrenalina[ampolleta]	0.82	0.95	0.07	0.47	0.47	0.74	0.09	1.17	0.06	0.94	0.40	0.75
difenilhidantonoina[ampolleta]	0.20	1.00	0.60	0.80	0.07	1.00	0.20	1.00	0.40	1.40	0.20	0.60
Butilhioscina[ampolleta]	0.10	0.87	0.60	1.07	0.87	1.93	0.10	0.87	1.13	1.33	0.27	1.67
Metamisol[ampula]	0.20	1.26	0.50	1.18	1.22	2.04	0.60	1.30	1.72	1.88	0.88	2.54
Bicarbonato de sodio[ampula]	6.00	6.00	0.10	3.00	3.00	6.00	0.10	9.00	0.10	6.00	3.00	6.00

Imagen 13. Demanda mensual mínima y máxima de cada IAM. Elaboración propia realizado con Excel

Cantidad de paquetes a pedir de cada IAM mensualmente

La cantidad de paquetes a pedir de cada IAM se obtiene solucionando el modelo matemático propuesto (apartado 4.4). Se consideran 16 soluciones a probar en la simulación.

4.5.4 Construcción del modelo:

El modelo computacional se implementa en el software de simulación SIMIO. De manera ilustrativa se representará sólo el análisis para cinco IAMs.

Componentes del sistema

Se definen los componentes que estructuran el modelo computacional, estos componentes son: locaciones, entidades, arribos y procesamiento.

Locaciones

“Suministro de gasas”
“Inventario de gasas”
“Suministro de vendas de 10cm”
“Inventario de vendas de 10cm”
“Suministro de vendas de 5cm”
“Inventario de vendas de 5cm”
“Suministro de jabón antiséptico”
“Inventario de jabón antiséptico”
“Suministro de solución isotónica”
“Inventario de solución isotónica”

Entidades:

gasas
vendas 10cm
vendas 5cm
jabón antiséptico
solución isotónica

Arribos:

En lotes de Q de cada uno de los AIM

Procesamiento:

Los IAM llegan al almacén desde una “source” y se consumen con un tiempo de procesamiento en el “Server” para eliminar las entidades en un “sink”.



Imagen 14. Estructura de la simulación. Elaboración propia realizado en SIMIO

Proceso de construcción del modelo en SIMIO

A continuación, se explica el proceso de modelación que se llevó a cabo para realizar el modelo computacional en SIMIO.

1. Se crean las entidades correspondientes arrastrando el “ModelEntity” hacia el espacio de trabajo.

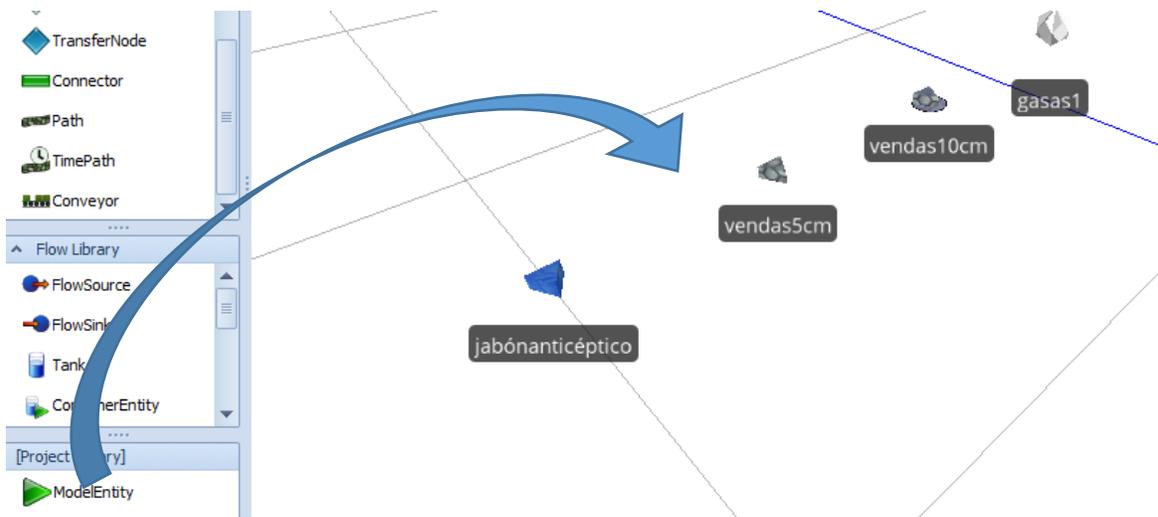


Imagen 15. Creación de las entidades. Realizado en SIMIO

- Se crean las locaciones correspondientes al suministro de cada IAM arrastrando una "Source" hacia el espacio de trabajo.

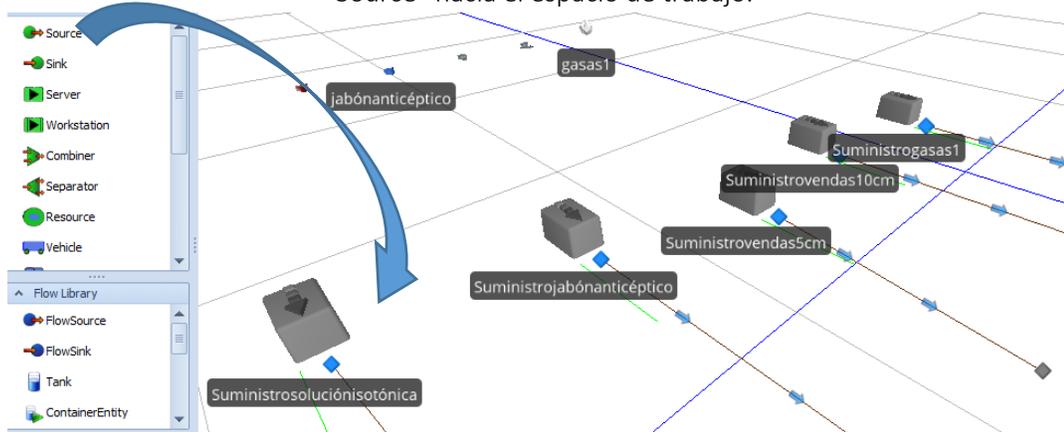


Imagen 16. Asignación de las Source. Realizado en SIMIO

- Se crean las locaciones correspondientes al inventario de cada IAM arrastrando un "Server" hacia el espacio de trabajo. Se descarga de internet los símbolos para dar la animación de estante al server.

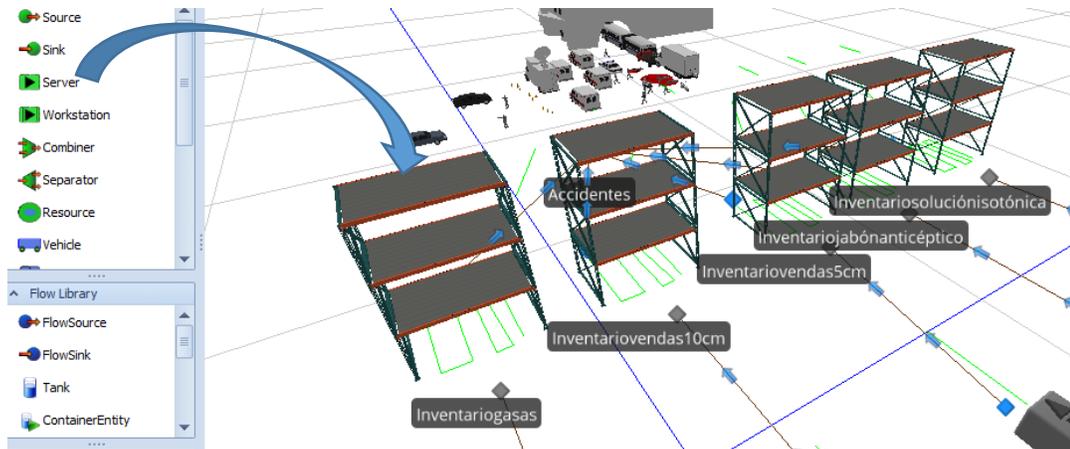


Imagen 17. Asignación de los Servers. Realizado en SIMIO

- Se crean la locación correspondiente a la ocupación-desecho de cada IAM arrastrando un "Sink" hacia el espacio de trabajo. Se descarga de internet los símbolos para dar la animación de un accidente.

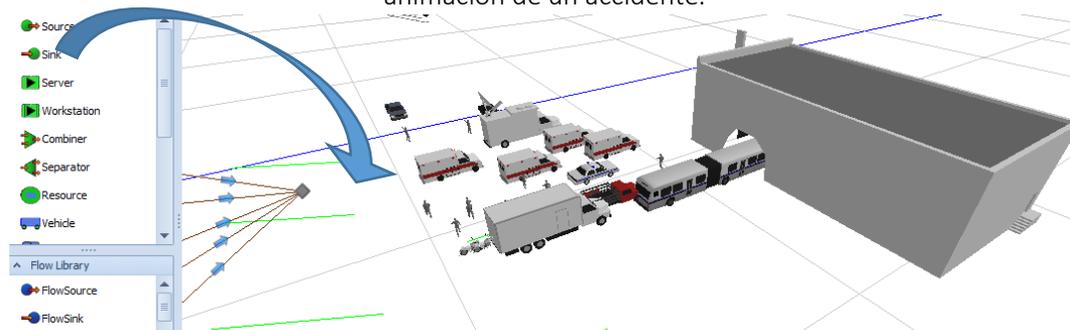


Imagen 18. Crear el Sink. Realizado en SIMIO

5. Se conectan las entidades de la simulación con la herramienta “path”
6. Este paso es la parte medular para estructurar la lógica de la simulación. Se crea una tabla que permita relacionar las entidades, y las locaciones con los datos de entrada.

	IAM	tiempoabastecimiento	Cantidadordenar	funcionprobabilidadmensual
1	gasas1	01/01/2018 12:00:00 a. m.	21	Random.Uniform(63.77 , 109.09)
2	gasas1	01/02/2018 12:00:00 a. m.	14	Random.Uniform(62.5, 87.38)
3	gasas1	01/03/2018 12:00:00 a. m.	14	Random.Uniform(46.27, 61.96)
4	gasas1	01/04/2018 12:00:00 a. m.	14	Random.Uniform(61.75, 75)
5	gasas1	01/05/2018 12:00:00 a. m.	0	Random.Uniform(56.65, 66.12)
6	gasas1	01/06/2018 12:00:00 a. m.	9	Random.Uniform(74.69, 97.83)
*				

Imagen 19. Estructura de la tabla lógica. Realizado en SIMIO

En la primera columna se especifica la entidad, siguiendo la ruta Add colum>Object Reference>Entity, para este ejemplo se tomó el caso de las gasas. En la siguiente columna se indica el tiempo de reabastecimiento, siguiendo la ruta Add colum>Standar Property>Data time, para la metodología establecida se definió mensualmente. En la tercer columna se precisa la cantidad a ordenar, siguiendo la ruta Add colum>Standar Property>Real, este valor es obtenido de la solución del AG y será evaluado de acuerdo al diseño de experimentos. En la última columna se especifica la función de probabilidad de demanda mensual, siguiendo la ruta Add colum>Standar Property>Expression, las unidades están en horas, por lo que fue necesario transformar la demanda en tiempo de procesamiento en horas. Este proceso de elaboración de tabla se realiza para cada uno de los IAMs.

7. Se agregan los datos de la tabla a las propiedades de la Source (suministro de gasas)

<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
Entity Arrival Logic	
Entity Type	Table2.IAM
Arrival Mode	Arrival Table
Arrival Time Property	Table2.tiempoabastecimiento
Entities Per Arrival	Table2.Cantidadordenar
Repeat Arrival Pattern	False
+ Other Arrival Stream Options	
+ Stopping Conditions	
+ Buffer Logic	
+ Table Row Referencing	
+ State Assignments	
+ Financials	
+ Add-On Process Triggers	
+ Advanced Options	
+ General	

Imagen 20. Propiedades de la Source. Realizado en SIMIO

8. Se agregan los datos de la tabla a las propiedades del server (Inventario gasas)

Process Logic	
Capacity Type	Fixed
Initial Capacity	1
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
Transfer-In Time	0.0
Process Type	Specific Time
Processing Time	↻ Table2.funcionprobabilidadmensua
Off Shift Rule	Suspend Processing
Buffer Logic	
Reliability Logic	
Table Row Referencing	
State Assignments	
Secondary Resources	
Financials	

Imagen 21. Propiedades del server. Realizado en SIMIO

9. Se especifica el tiempo del experimento de 6 meses, que es el tiempo que se requiere para probar la solución

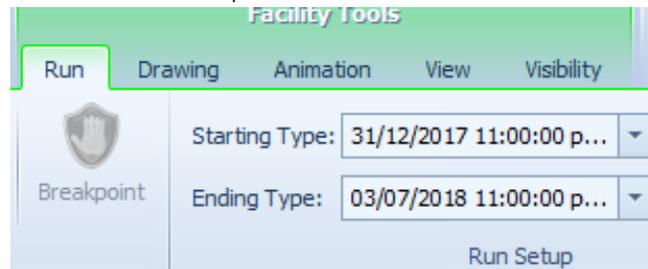


Imagen 22. Tiempo de experimentación. Realizado en SIMIO

10. Se corre la simulación

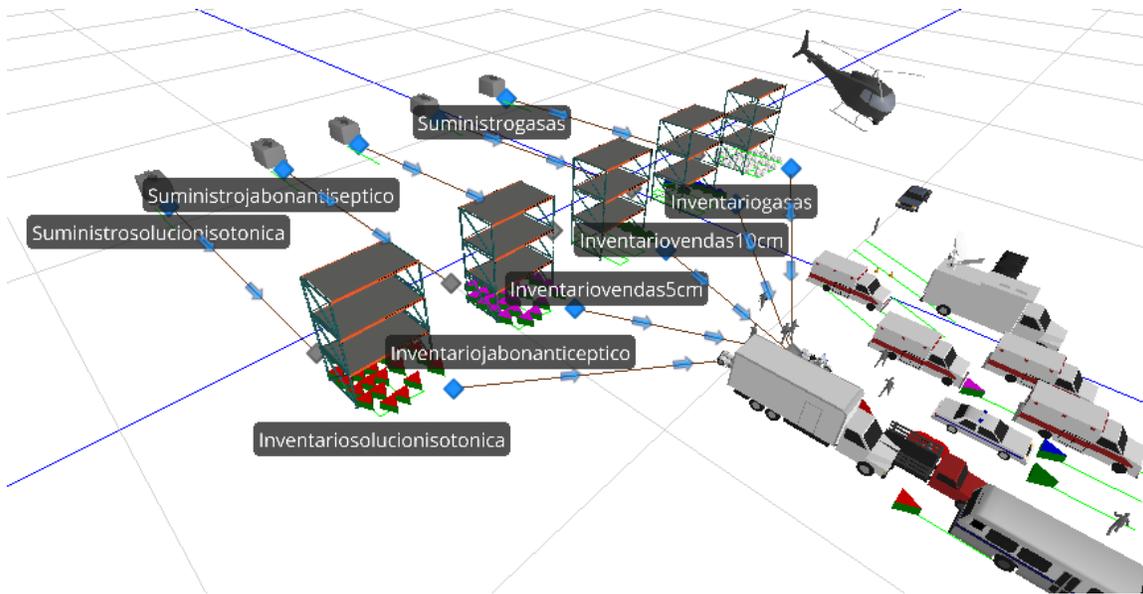


Imagen 23. Ejecución de la simulación. Realizado en SIMIO

4.5.5 Diseño de experimentos

En la (tabla 13) se encuentran las mejores soluciones de acuerdo al valor de la función objetivo considerando diferentes parámetros del AG, estas soluciones se guardaron en un archivo xlsx para introducirlas en la simulación. Como se mencionó con anterioridad, la solución del modelo es la cantidad a ordenar de cada uno de los IAMs, por lo que se introduce esta solución en la tabla de cada IAM en la columna de “cantidad ordenar”, evaluando cada una de las soluciones en el modelo computacional.

Entity Instance Property1	Date Time Property1	Real Property1	Expression Property1
1 NaCl	01/01/2018 12:00:00 a. m.	10	Random.Uniform(160.00,360.00)
2 NaCl	01/02/2018 12:00:00 a. m.	0	Random.Uniform(205.71,288.00)
3 NaCl	01/03/2018 12:00:00 a. m.	5	Random.Uniform(147.69,288.00)
4 NaCl	01/04/2018 12:00:00 a. m.	3	Random.Uniform(133.95,411.43)
5 NaCl	01/05/2018 12:00:00 a. m.	6	Random.Uniform(151.58,192.00)
6 NaCl	01/06/2018 12:00:00 a. m.	4	Random.Uniform(261.82,411.43)

Imagen 24. Variación de la cantidad a ordenar de acuerdo al diseño de experimentos de las soluciones. Elaboración propia realizado en SIMIO

4.5.6 Producción de corridas de simulación y análisis

En principio, el objetivo de la simulación para esta metodología es la evaluación de las soluciones del modelo, teniendo como variable de desempeño el nivel de inventario, este nivel de inventario tiene que cumplir con el nivel de servicio establecido para cada IAM. Se prueba cada una de las soluciones en el modelo de la simulación realizado en SIMIO, se establece que la cola del “server” a la entrada es el inventario del IAM, mientras que para verificar el nivel de servicio del inventario a lo largo del tiempo, se pone atención en el porcentaje de ocupación del server.

Una de las ventajas que se tiene al usar el software SIMIO es el reporte final que se obtiene al finalizar la simulación.

Object Name	Data Source	Category	Value
adrenalina	[Population]	Throughput	7
apósitos	[Population]	Throughput	29
atropina	[Population]	Throughput	4
bicarbonatodesodio	[Population]	Throughput	34
Butilioscina	[Population]	Throughput	11
canulanasal	[Population]	Throughput	209
canulayankawer	[Population]	Throughput	24
diasepam	[Population]	Throughput	2
diclofenaco	[Population]	Throughput	8

Imagen 25. Reporte de resultado de la simulación. Realizado con SIMIO

De este reporte de más de 50 páginas, sólo se extrae los resultados de utilización del server de cada IAM. A continuación, se presenta los resultados de la simulación para el experimento 11

ScheduledUtilization - Percent			
Object Name	Data Source	Category	Value
Inventarioadrenalina	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioapósitos	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioatropína	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariobicarbonatodesodio	[Resource]	Capacity	99.99998
InventarioButilioscina	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariocanulanasal	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariocanulayankawer	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioDiasepam	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariodiclofenaco	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariodifenilhidantonoina	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioelectrodo	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioexpansoresdeplasma	[Resource]	Capacity	71.81719
Inventariofijadordetubo	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariogasas	[Resource]	Capacity	99.99995
InventarioGlucosa	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarioguantelatex	[Resource]	Capacity	99.99995
Inventarioguantespoliuretano	[Resource]	Capacity	99.99996
InventarioHartmann	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarijobónanticéptico	[Resource]	Capacity	99.99995
InventarioJeringa	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarioketorolaco	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariomascarillalaringea	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariometamisol	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioMidasolam	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariomscarillafacial	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioNaCl	[Resource]	Capacity	99.99998
InventarioNalbufina	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopapelderegistro	[Resource]	Capacity	90.21695
Inventariopaquetevenopunsión	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariopunzocat14	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariopunzocat16	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopunzocat18	[Resource]	Capacity	98.28035
Inventariopunzocat20	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopunzocat22	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarioreservorio	[Resource]	Capacity	81.91444
Inventariosoluciónisotónica	[Resource]	Capacity	99.99995
Inventariotelaadhesiva	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventariotuborotraqueal	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventario vendas10cm	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventario vendas5cm	[Resource]	Capacity	94.27193
Inventariovenoset	[Resource]	Capacity	85.4205
Inventariooxigeno	[Resource]	Capacity	89.38246

Tabla 15. Reporte del % de ocupación del Server. Realizado con SIMIO

En general, para la experimentación de las 16 soluciones en la simulación, se tuvieron buenos resultados respecto al nivel de servicio, ya que para la mayoría de los IAMs el porcentaje de utilización es alrededor del 99.9999% y, donde sólo en algunos productos hubo desabastecimiento en algún momento a lo largo de los 6 meses. Esto se comprueba en la tabla anterior donde por ejemplo, el reservorio tiene una utilización de 81.91% y el venoset del 85.42%.

Capítulo 5 Resultados y conclusiones

Siguiendo con la metodología, se procede a determinar la solución más adecuada. Esta solución se pone en este apartado ya que se considera el entregable a SAPH. Para determinarla se considera que los IAM cumplan con el nivel de servicio establecido en la política de inventario. Evaluando las 16 soluciones, en ninguna de éstas se consiguió tener un nivel de servicio establecido para todos los IAMs, sin embargo se consiguió obtener una muy buena solución, en la cual 38 de los 42 IAMs cumplen con el nivel de servicio establecido, 3 de los 4 IAMs restantes tienen en promedio 92% del nivel de servicio, mientras que el por último IAM faltante tiene un 72% del nivel de servicio. A continuación, se presenta la respuesta de la simulación que evaluó la solución escogida. En el (Anexo 2) se presentan algunas respuestas de la simulación cuando se evaluaron las soluciones.

ScheduledUtilization - Percent			
Object Name	Data Source	Category	Value
Inventarioadrenalina	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioapósitos	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioatropína	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariobicarbonatodesodio	[Resource]	Capacity	99.99998
InventarioButilhioscina	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariocanulanasal	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariocanulayankawer	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioDiasepam	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariodiclofenaco	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariodifenilhidantonoina	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioelectrodo	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioexpansoresdeplasma	[Resource]	Capacity	71.81719
Inventariofijadordetubo	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariogasas	[Resource]	Capacity	99.99995
InventarioGlucosa	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarioguanteslatex	[Resource]	Capacity	99.99995
Inventarioguantespoliuretano	[Resource]	Capacity	99.99996
InventarioHartmann	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariojabónantiséptico	[Resource]	Capacity	99.99995
InventarioJeringa	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarioketorolaco	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariomascarillalaringea	[Resource]	Capacity	99.99997

ScheduledUtilization - Percent

Object Name	Data Source	Category	Value
Inventariometamisol	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioMidazolam	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariomscarillafacial	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioNaCl	[Resource]	Capacity	99.99998
InventarioNalbufina	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopapelderegistro	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventariopaquetevenopunsi3n	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariopunzocat14	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariopunzocat16	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopunzocat18	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopunzocat20	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopunzocat22	[Resource]	Capacity	90.6541
Inventarioreservorio	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariosoluci3nisot3nica	[Resource]	Capacity	99.99995
Inventariotelaadhesiva	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventariotuborotraqueal	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariovendas10cm	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventariovendas5cm	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventariovenoset	[Resource]	Capacity	92.59785
Inventariooxigeno	[Resource]	Capacity	95.56573

Tabla 16. Reporte del % de ocupaci3n del Server de la mejor soluci3n. Realizado con SIMIO

La soluci3n que tuvo este desempe1o dentro de la simulaci3n, es la siguiente.

IAM	Cantidad de paquetes a pedir mensualmente					
	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17
gasas	21	14	14	14	0	9
vendas 10 cm[pieza]	157	59	0	81	81	93
vendas5cm[pieza]	125	43	42	51	63	0
jab3n antic3ptico[ml]	1	0	0	1	0	0
soluci3n isot3nica[ml]	26	0	14	17	17	0
guantes de latex[pares]	4	2	0	2	3	2
guantes de poliuretano[pares]	2	0	0	0	0	0
Tela adhesiva[cm]	4	0	1	0	1	1
Ap3sitos	12	2	4	3	5	3
papel de registro[cm]	174	0	142	133	0	0
electrodos	1	0	0	0	0	0
maskarilla de laringea	4	3	1	0	0	0
canula de yankawer	7	4	2	3	4	4
canal nasal	66	31	38	33	0	41
maskarilla facial	39	0	21	21	24	20
reservorio	15	0	6	0	12	6
tubo orotraqueal	11	6	7	5	3	7

fijador de tubo	15	7	2	0	5	8
oxígeno[l]	4	2	1	2	0	1
Paquete venopunción	60	43	32	29	33	35
Venuset	50	0	36	26	21	0
Punzocat14	1	0	0	0	0	0
Punzocat16	4	0	0	0	0	0
Punzocat18	1	1	1	0	1	1
Punzocat20	5	0	1	2	2	2
Punzocat22	1	0	0	1	1	1
Hartmann[ml]	5	1	2	3	1	0
expansores de plasma[ml]	1	0	0	0	0	0
NaCl[ml]	8	4	0	4	6	0
glucosa5%[ml]	4	0	3	2	2	3
Jeringa	9	7	0	0	0	3
diasepam[ampolleta]	1	0	1	0	0	0
Midasolam[ampolletas]	2	0	0	0	0	0
atropína[ampolletas]	2	0	1	0	1	0
diclofenaco[ampolleta]	3	1	1	0	1	2
ketorolaco[ampolleta]	3	2	2	0	3	0
Nalbufina[ampolleta]	3	0	2	1	2	1
Adrenalina[ampolleta]	2	1	2	0	1	1
Difenilhidantonoina[ampolleta]	2	0	2	0	1	0
Butilhioscina[ampolleta]	2	1	2	2	2	2
Metamizol[ampula]	4	0	3	0	4	0
Bicarbonato de sodio[ampula]	11	10	0	5	8	0

Tabla 17. Solución más adecuada para la política de inventario del SAPH. Elaboración propia MATLAB-Excel

Teniendo un costo total de inventario de \$152,210.00 para los 6 meses que se contemplarán de análisis.

Como se mencionó con anterioridad, 3 de los 42 IAMs de la mejor solución tienen solo un 92% del nivel de servicio, estos 3 IAMs pertenecen a la categoría II y III del análisis ABC-VED, lo que sugiere que la sensibilidad del AG ante la restricción del nivel de servicio y por ende el stock de seguridad, es de considerar. También, dentro de los resultados arrojados de la simulación, el oxígeno tampoco cumple con el nivel de servicio requerido, incluso perteneciendo éste a la categoría I, esto se debe a que en comparación con los precios de otros IAMs el oxígeno tiene un precio muchísimo mayor al de los otros, provocando que la función objetivo y la restricción de presupuesto lo puedan llegar a omitir. La sugerencia antes estos hechos, en primera instancia es mandar a pedir en el mes cinco 1 litro de oxígeno, mientras que para solucionar el tema de los 3 artículos con 92% de nivel de servicio, quedaría a consideración del SAPH mandar a pedir más producto de estos, evaluando con base en su expertis el costo-beneficio.

Con la metodología propuesta que combina la optimización con la simulación dentro de la metodología de la Investigación de Operaciones, se obtuvieron buenos resultados para estructurar la política de inventario para un problema muy grande; por un lado el AG soluciona el modelo matemático proporcionando varias soluciones de acuerdo a un diseño de experimentos, la mejor solución dentro de este conjunto de soluciones no necesariamente es la mejor, ya que puede ser que no pueda satisfacer por completo la demanda. La simulación permite entonces, validar cada una de las soluciones antes descritas para obtener una solución con el mejor desempeño para satisfacer la demanda, permitiendo así obtener una solución más robusta de la política de inventario, siendo esto el éxito de esta metodología.

Como parte de la metodología de la Investigación de Operaciones, es necesario presentar los resultados al SAPH para su análisis y su pronta aplicación. La presentación se realizará primeramente a los paramédicos del departamento, para posteriormente presentarlas al jefe del departamento de almacén de servicios médicos.

Para futuras investigaciones, se plantea desarrollar un software que permita vincular las soluciones del Algoritmo genético directamente con la simulación, evitando pasar de un software a otro. Este software plantea tener una interfaz de fácil operación que, permita que cualquier persona con un poco de conocimiento de inventarios pueda utilizarla y beneficiarse de sus resultados.

Capítulo 6 Referencias

Rosseti, M. D., Marek, D., Prabhu, S., Bhonsle, A., Sharp, S., & Liu, Y., (2008). Inventory management issues in health care supply chains, Center of innovation in healthcare logistics.

Bendavid Y.&Boeck H. (2011). Using RFID to Improve Hospital Supply Chain Management for High Value and Consignment Items. *Procedia Computer Science*, 5, 849–856.

Ahmed, M.,&Alkhamis, T.. (2009). Simulation optimization for an emergency department healthcare unit in Kuwait. *European Journal of Operational Research*, 198, 936–942. K. Elissa, “Title of paper if known,” unpublished.

Cabrera, E.,Toboada, M., Iglesias, M., Epelde, F., Luque, M.. (2012). Simulation Optimization for Healthcare Emergency Departments. *Procedia Computer Science*, 9, 1464 – 1473.

Churchman, C. W., Ackoff, R. L. y Arnoff, E. L.,(1957), *Introduction to operations Research*, John Wiley & Sons

Winston W., (2004). *Investigación de Operaciones*. Mexico: CENGAGE Learning.

Sipper D.&Bulfin R.. (1998). Inventarios. En *Planeación y control de la producción*(218-300). México: Mc Graw Hill.

Jacuzzi E.. (2002). *Diseño e implementación de un sistema de pronóstico de ventas en Whirlpool Argentina*. Argentina: CEMA

STAT 510.(2018). *Vector Autoregressive models VAR(p) models: Applied Time Series Analysis*. The Pennsylvania State University. Recuperado de <https://onlinecourses.science.psu.edu/stat510/node/79>

Omane, M., Oduro, F.,&Dua S.. (2013, enero). Determining the Better Approach for Short-Term Forecasting of Ghana’s Inflation: Seasonal-ARIMA vs. Holt-Winters. *International Journal of Business, Humanities and Technology*, Vol. 3 No.1, pp. 69-79.

Devnani, M., Gupta, A., & Nigah, R. (2010). ABC and VED Analysis of the Pharmacy Store of a Tertiary Care Teaching, Research and Referral Healthcare Institute of India. *Journal of Young Pharmacists : JYP*, 2(2), 201–205.

Vaz FS, Ferreira AM, Kulkarni MS, Motghare DD, Pereira-Antao I.(2008). A Study of Drug Expenditure at a Tertiary Care Hospital: An ABC-VED Analysis. *J Health Manag.*;10:119–27

Flores, I.. (2002). *Apuntes de programación entera*. México: Facultad de Ingeniería.

Estévez P. . (1997). *Optimización Mediante Algoritmos Genéticos*. Chile: Anales del Instituto de Ingenieros de Chile.

Holland, J. H. (1975/1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Cambridge, MA:MIT Press. Second edition (1992). (First edition, University of Michigan Press,1975).

Fogel, D. (2006) *Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence*, 3rd ed. New York: IEEE Press

Carnicero A.& Galindo J. . (2003). Optimización mediante algoritmos genéticos: Aplicación al diseño de celosías. *Anales de Mecánica y Electricidad.*, LXXX, 40-50.

Muhlenbein, H., Schomisch, M., & Born, J. (1991). The parallel genetic algorithm as function optimizer. *Parallel Computing*, 17, 619-632.

Coello C.. (2002). Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms: a survey of the state of the art. *Computer methods in applied mechanics and engineering* , 191, 1245–1287.

A. Suresh y A. Mohamed. (1998). An improved genetic algorithm for the optimal design of large trusses. 4ª Conferencia Internacional sobre Tecnología Computacional de Estructuras. Escocia.

Prawda J.. (1992). *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones*. México: LIMUSA.

Banks Jerry, Carson John S., and Nelson Barry L., Nicol David M., (2005). *Discrete-Event System Simulation*, (4a ed.), U.S.A.: Prentice-Hall.

Marmolejo I., Granillo R. & Santana F.. (2014). Etapas de un modelos de simulación y la modelación con FlexSim. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior de Cd. Sahagún*, 2, S/N.

Lambán, M., Royo, J., Valencia, J., Berges, L., & Galar, D.. (2013). Modelo para el cálculo del costo de almacenamiento de un producto: caso de estudio en un entorno logístico. *DYNA*, 80, 23-32.

Stock J. & Lambert D.. (2001). *Strategic Logistics Management*. New York: McGraw-Hill,.

ANEXOS

Anexo 1

Pronóstico de demanda de paquetes de guantes de l

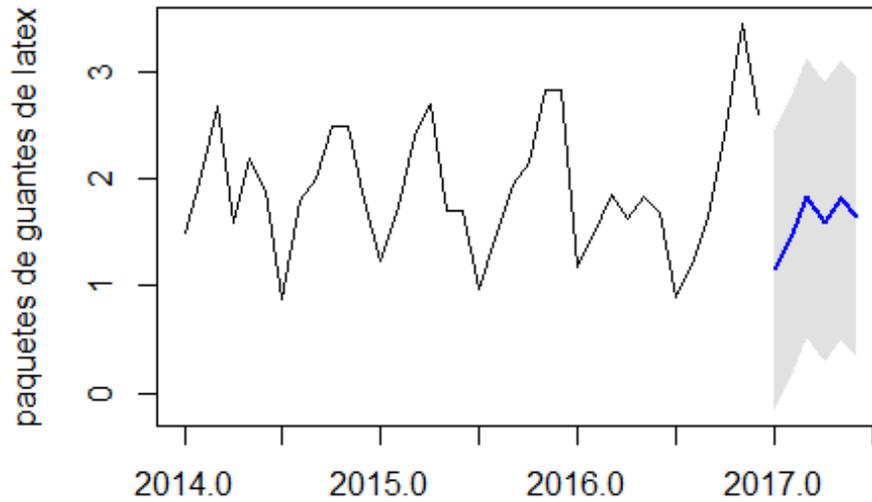


Gráfico 17: Pronóstico de la demanda de paquete de guantes. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	1.148630	-0.1576879	2.454948
## Feb 2017	1.443110	0.1367917	2.749427
## Mar 2017	1.825923	0.5196056	3.132241
## Apr 2017	1.590275	0.2839572	2.896593
## May 2017	1.806187	0.4998687	3.112504
## Jun 2017	1.649079	0.3427617	2.955397

Pronóstico de demanda de paquetes de guantes de pol

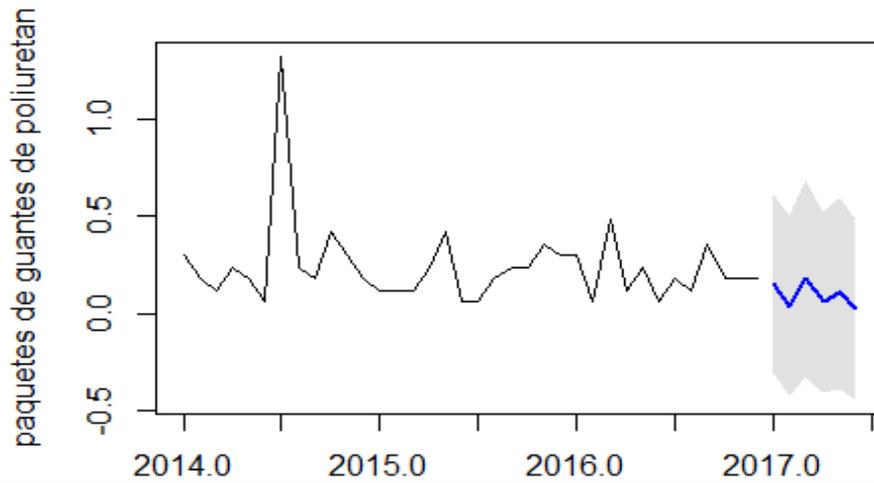


Gráfico 18 Pronóstico de la demanda de paquetes de guantes de poliuretano. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99	Hi 99
## Jan 2017	0.15326023	-0.3086143	0.6151347
## Feb 2017	0.03741067	-0.4245667	0.4993880
## Mar 2017	0.18005254	-0.3234982	0.6836033
## Apr 2017	0.05756176	-0.4099771	0.5251006
## May 2017	0.10566872	-0.3858694	0.5972068
## Jun 2017	0.02158520	-0.4420437	0.4852141

Pronóstico de demanda de paquetes de tela adhes

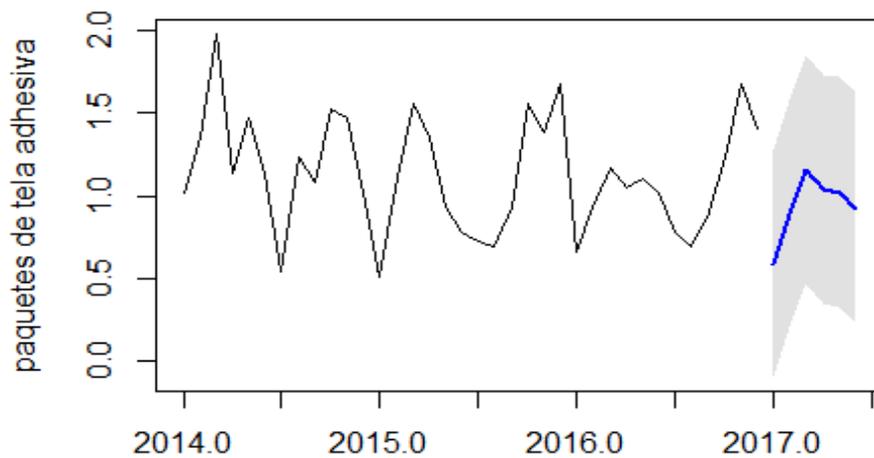


Gráfico 19 Pronóstico de la demanda de paquetes de tela adhesiva. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	0.5873887	-0.0966975	1.271475
## Feb 2017	0.8897046	0.2035522	1.575857
## Mar 2017	1.1560696	0.4657628	1.846376
## Apr 2017	1.0414310	0.3499838	1.732878
## May 2017	1.0207146	0.3267146	1.714715
## Jun 2017	0.9220711	0.2270737	1.617068

Pronóstico de demanda de paquetes de Apósitos

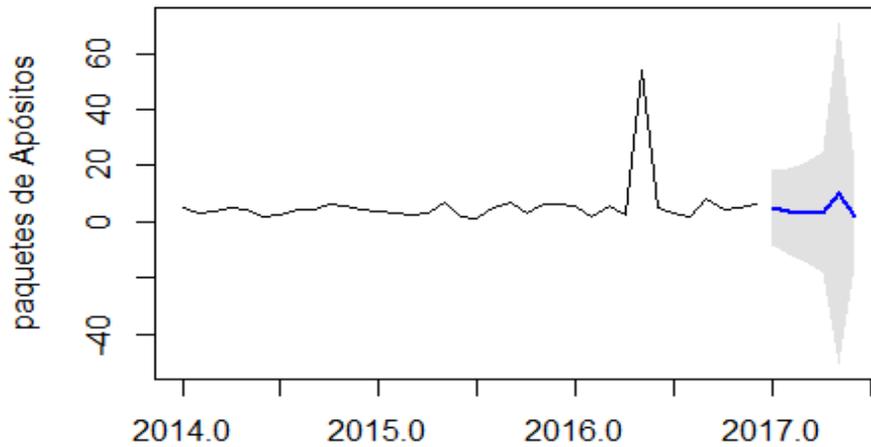


Gráfico 20 Pronóstico de la demanda de paquetes de Apósitos. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99	Hi 99
## Jan 2017	4.984491	-8.284116	18.25310
## Feb 2017	3.611402	-11.733048	18.95585
## Mar 2017	3.147312	-14.380935	20.67556
## Apr 2017	3.408708	-18.111576	24.92899
## May 2017	10.172704	-51.049582	71.39499
## Jun 2017	1.885059	-15.521001	19.29112

Pronóstico de demanda de paquetes de papel de reg

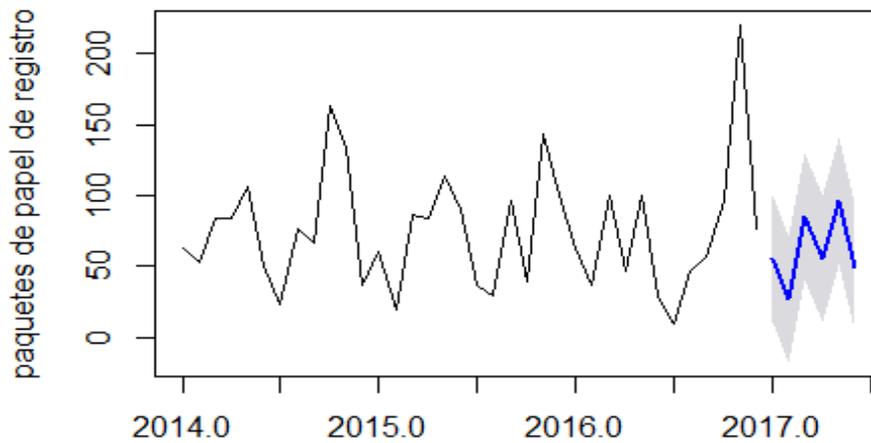


Gráfico 21 Pronóstico de la demanda de paquetes de papel de registro. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 95	Hi 95
## Jan 2017	55.52609	11.311165	99.74102
## Feb 2017	26.87503	-17.339898	71.08995
## Mar 2017	84.88263	40.667704	129.09756
## Apr 2017	55.63859	11.423669	99.85352
## May 2017	96.27837	52.063446	140.49330
## Jun 2017	49.26235	5.047423	93.47728

Pronóstico de demanda de paquetes de electrodo

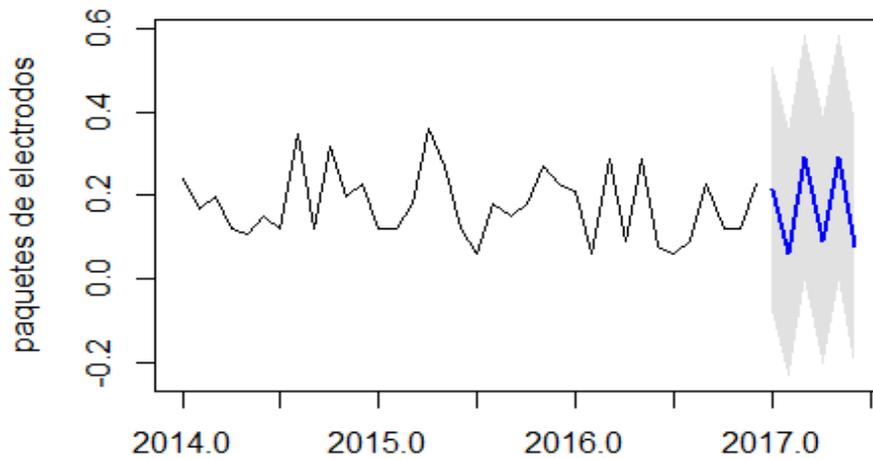


Gráfico 22 Pronóstico de la demanda de paquetes de electrodos. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	0.21400489	-0.083089122	0.5110989
## Feb 2017	0.06114244	-0.235951572	0.3582364
## Mar 2017	0.29041799	-0.006676025	0.5875120
## Apr 2017	0.09170824	-0.205385774	0.3888022
## May 2017	0.29040087	-0.006693138	0.5874949
## Jun 2017	0.07641904	-0.220674969	0.3735131

Pronóstico de demanda de paquetes de mascarilla de laringea

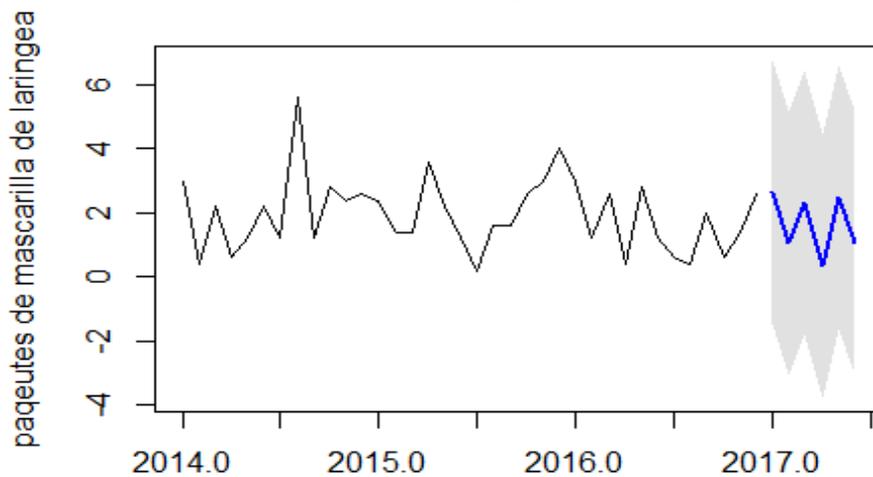


Gráfico 23 Pronóstico de la demanda de paquetes de mascarilla de laringea. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	2.6569882	-1.462035	6.776012
## Feb 2017	1.0614754	-3.057548	5.180499
## Mar 2017	2.2969481	-1.822076	6.415972
## Apr 2017	0.3529193	-3.766104	4.471943
## May 2017	2.4671708	-1.651853	6.586195
## Jun 2017	1.0559318	-3.063092	5.174956

Pronóstico de demanda de paquetes de canula yank

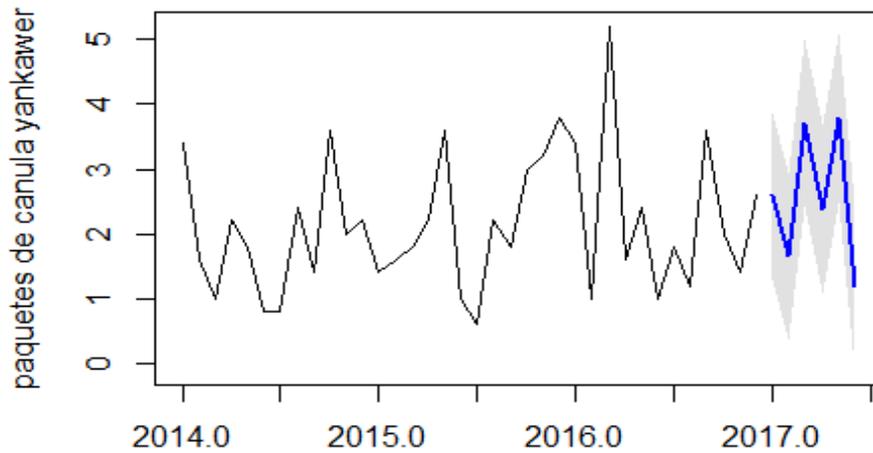


Gráfico 24 Pronóstico de la demanda de paquetes de cánula Yankawer. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99	Hi 99
## Jan 2017	2.589541	1.3025910	3.876490
## Feb 2017	1.647572	0.3606227	2.934522
## Mar 2017	3.716931	2.4299820	5.003881
## Apr 2017	2.380880	1.0939305	3.667829
## May 2017	3.787406	2.5004562	5.074355
## Jun 2017	1.182579	-0.1043705	2.469529

Pronóstico de demanda de paquetes de canal nas



Gráfico 25 Pronóstico de la demanda de paquetes de canal nasal. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	18.39455	-5.390246	42.17934
## Feb 2017	26.39419	2.609399	50.17898
## Mar 2017	30.48183	6.697041	54.26663
## Apr 2017	32.55075	8.765954	56.33554
## May 2017	26.63160	2.846811	50.41640
## Jun 2017	26.22458	2.439784	50.00937

Pronóstico de demanda de paquetes de mascarilla facial

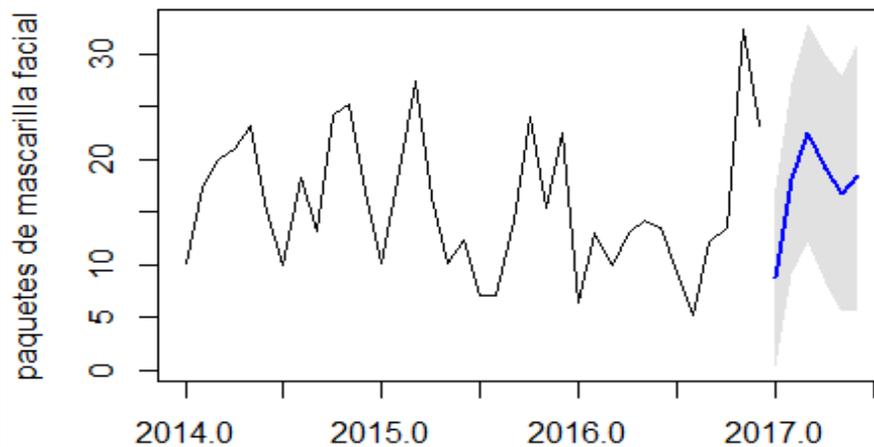


Gráfico 26 Pronóstico de la demanda de paquetes de mascarilla facial. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	8.774542	0.2864273	17.26266
## Feb 2017	18.145149	9.0791775	27.21112
## Mar 2017	22.515249	12.1276584	32.90284
## Apr 2017	19.112384	8.2891755	29.93559
## May 2017	16.784265	5.5725461	27.99598
## Jun 2017	18.363399	5.5517618	31.17504

Pronóstico de demanda de paquetes de reservorio

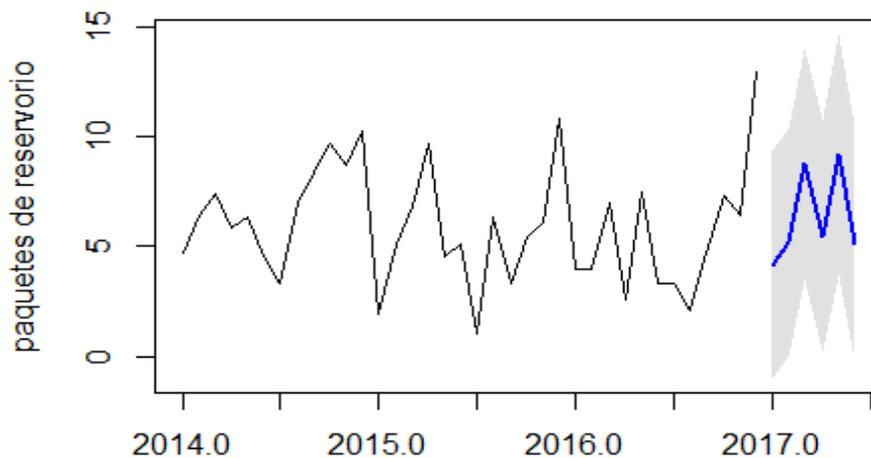


Gráfico 27 Pronóstico de la demanda de paquetes de reservorio. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	4.162494	-1.0017072	9.326695
## Feb 2017	5.151060	-0.0240293	10.326150
## Mar 2017	8.755057	3.5042763	14.005837
## Apr 2017	5.459973	0.2328753	10.687070
## May 2017	9.192592	3.7366545	14.648530
## Jun 2017	5.128709	-0.1725553	10.429973

Pronóstico de demanda de paquetes de tubo orotraqueal

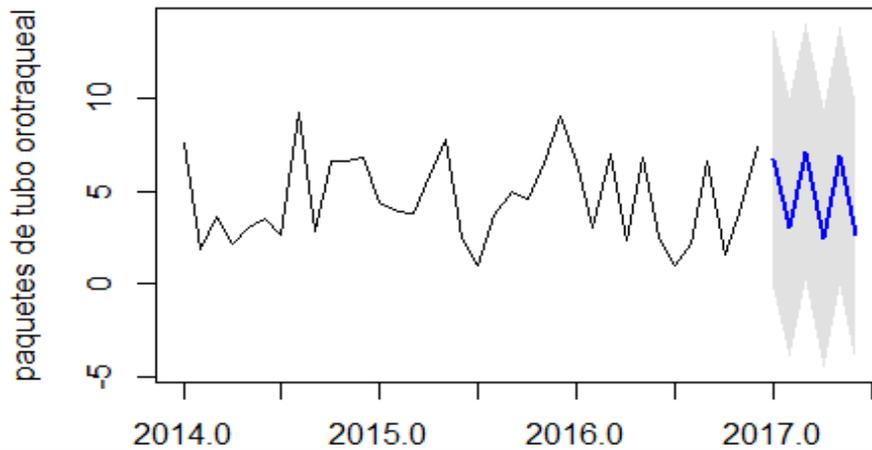


Gráfico 28 Pronóstico de la demanda de paquetes de tubo orotraqueal. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	6.744552	-0.21780787	13.706911
## Feb 2017	3.065586	-3.89677385	10.027945
## Mar 2017	7.152755	0.19039523	14.115114
## Apr 2017	2.452278	-4.51008143	9.414637
## May 2017	6.947852	-0.01450693	13.910212
## Jun 2017	2.656430	-4.30592980	9.618789

Pronóstico de demanda de paquetes de fijador de tubo

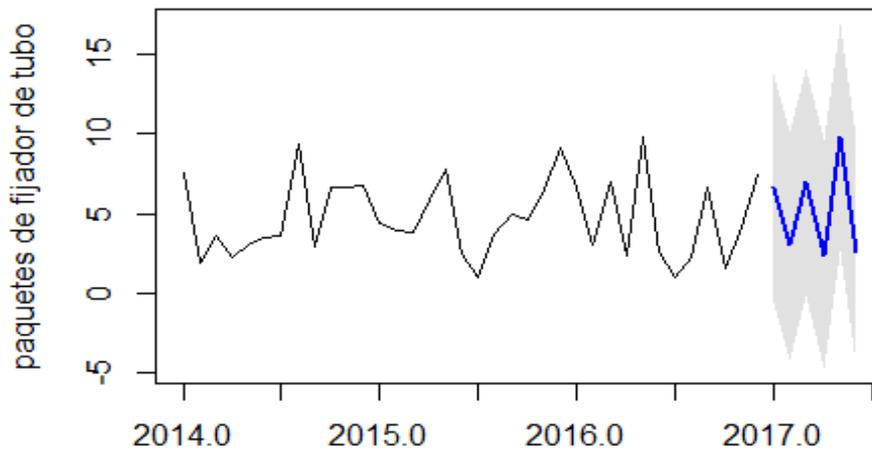


Gráfico 29 Pronóstico de la demanda de paquetes de fijador de tubo. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	6.593844	-0.5336094	13.721297
## Feb 2017	2.997202	-4.1302517	10.124655
## Mar 2017	6.993470	-0.1339835	14.120923
## Apr 2017	2.397761	-4.7296924	9.525214
## May 2017	9.790856	2.6634030	16.918310
## Jun 2017	2.597574	-4.5298793	9.725027

Pronóstico de demanda de tanques de oxígeno

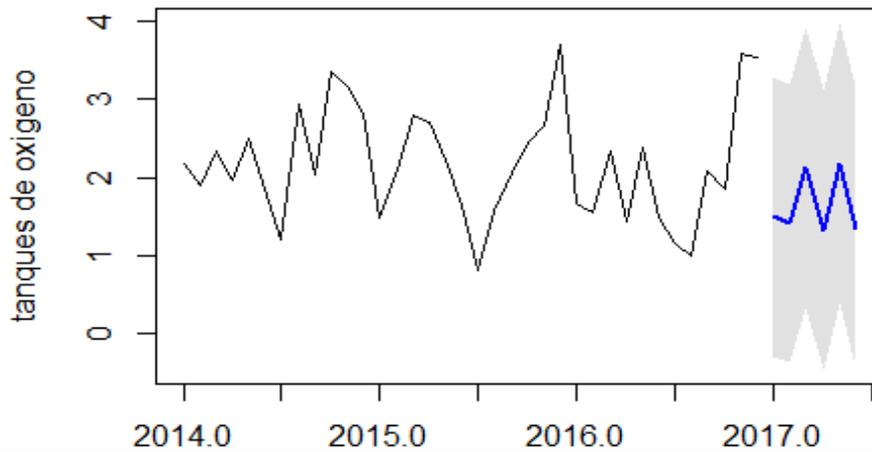


Gráfico 30 Pronóstico de la demanda de paquetes de tanques de oxígeno. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	1.496354	-0.2928472	3.285555
## Feb 2017	1.414211	-0.3762648	3.204686
## Mar 2017	2.124441	0.3290925	3.919789
## Apr 2017	1.329557	-0.4626635	3.121778
## May 2017	2.184987	0.3836347	3.986339
## Jun 2017	1.349391	-0.4450970	3.143880

Pronóstico de demanda de paquete de venopunción

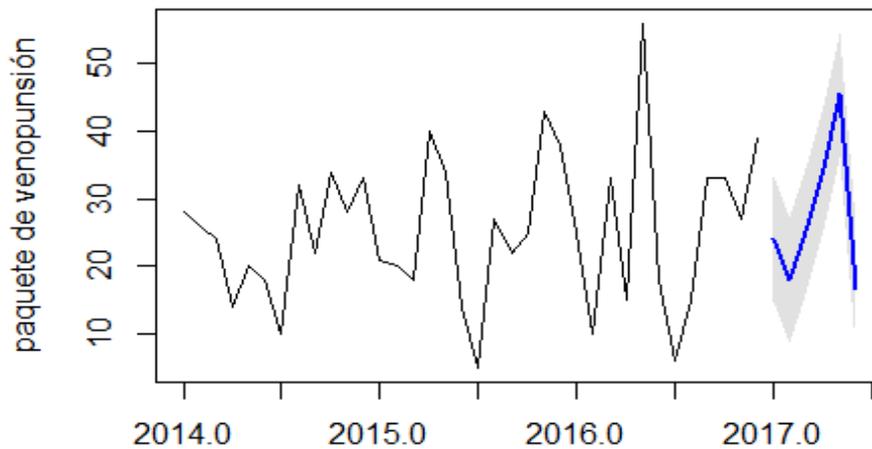


Gráfico 31 Pronóstico de la demanda de paquetes de venopunción. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99	Hi 99
## Jan 2017	24.04858	14.791640	33.30551
## Feb 2017	17.92065	8.663718	27.17759
## Mar 2017	25.21893	15.961997	34.47587
## Apr 2017	34.57959	25.322650	43.83652
## May 2017	45.48394	36.227003	54.74087
## Jun 2017	16.65380	7.396869	25.91074

Pronóstico de demanda de paquetes de venoset



Gráfico 32 Pronóstico de la demanda de paquetes de venoset. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	23.37326	15.918571	30.82794
## Feb 2017	18.95839	11.503701	26.41307
## Mar 2017	23.40162	15.946937	30.85631
## Apr 2017	37.47107	30.016384	44.92575
## May 2017	35.41399	27.959309	42.86868
## Jun 2017	16.11000	8.655312	23.56468

Pronóstico de demanda de paquetes de punzocat'

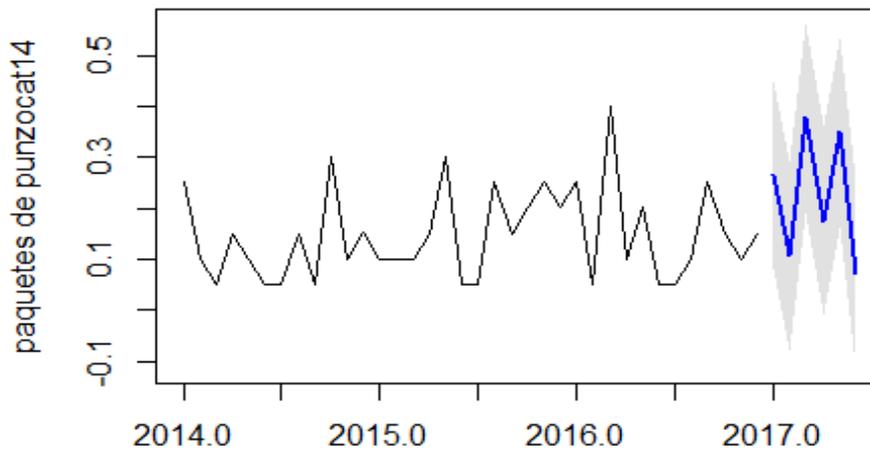


Gráfico 33 Pronóstico de la demanda de paquetes de punzocat 14. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99	Hi 99
## Jan 2017	0.26565017	0.08044445	0.4508559
## Feb 2017	0.10638627	-0.07881944	0.2915920
## Mar 2017	0.37746438	0.19225866	0.5626701
## Apr 2017	0.17517508	-0.01003064	0.3603808
## May 2017	0.34921916	0.16401345	0.5344249
## Jun 2017	0.07001788	-0.11518783	0.2552236

Pronóstico de demanda paquetes de punzocat16

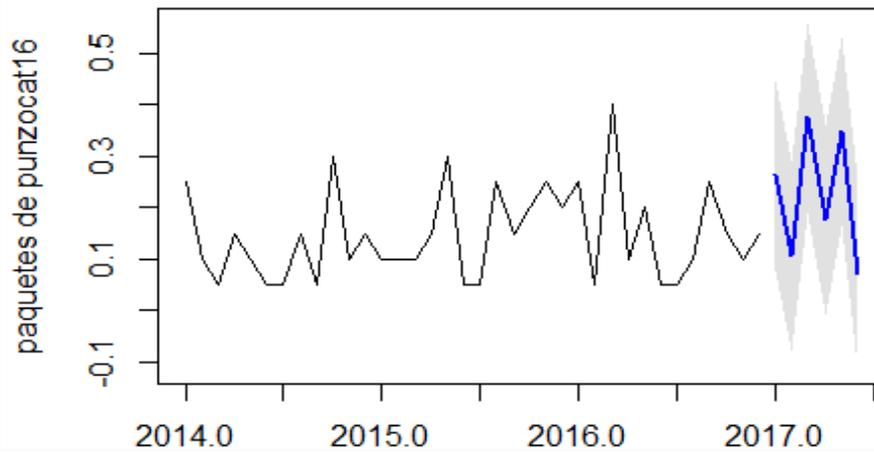


Gráfico 34 Pronóstico de la demanda de paquetes de punzocat 16. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99	Hi 99
## Jan 2017	0.26437900	0.080210409	0.4485476
## Feb 2017	0.10647296	-0.077695631	0.2906416
## Mar 2017	0.37584925	0.191680656	0.5600178
## Apr 2017	0.17566479	-0.008503805	0.3598334
## May 2017	0.34907951	0.164910915	0.5332481
## Jun 2017	0.07008176	-0.114086829	0.2542504

Pronóstico de demanda de paquetes de punzocat'

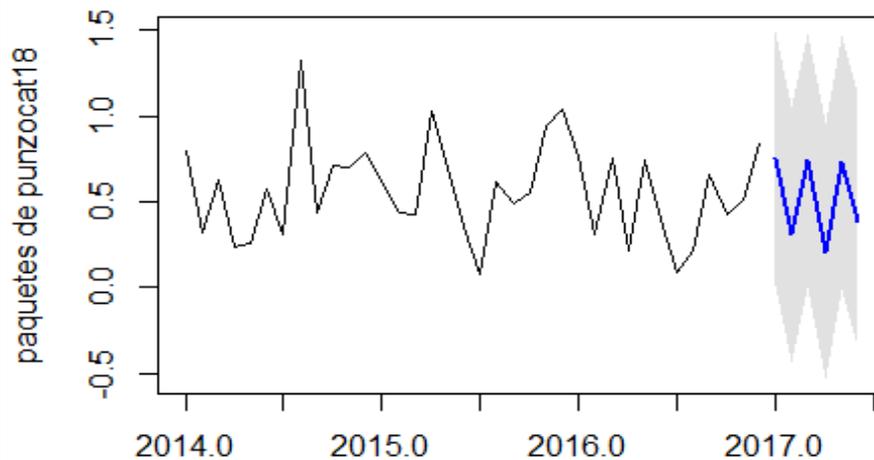


Gráfico 35 Pronóstico de la demanda de paquetes de punzocat 18. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99	Hi 99
## Jan 2017	0.7503304	0.007983855	1.4926770
## Feb 2017	0.3060516	-0.436294912	1.0483982
## Mar 2017	0.7404374	-0.001909191	1.4827839
## Apr 2017	0.2073196	-0.535026936	0.9496662
## May 2017	0.7305448	-0.011801782	1.4728913
## Jun 2017	0.3850115	-0.357335023	1.1273581

Pronóstico de demanda de paquetes de punzocat



Gráfico 36 Pronóstico de la demanda de paquetes de punzocat 20. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	1.2276524	-0.04829406	2.503599
## Feb 2017	0.7136412	-0.56306610	1.990349
## Mar 2017	1.3026807	0.01361000	2.591751
## Apr 2017	1.1527221	-0.14585365	2.451298
## May 2017	1.4573427	0.11619040	2.798495
## Jun 2017	0.9933197	-0.33176606	2.318405

Pronóstico de demanda de paquetes de punzocat

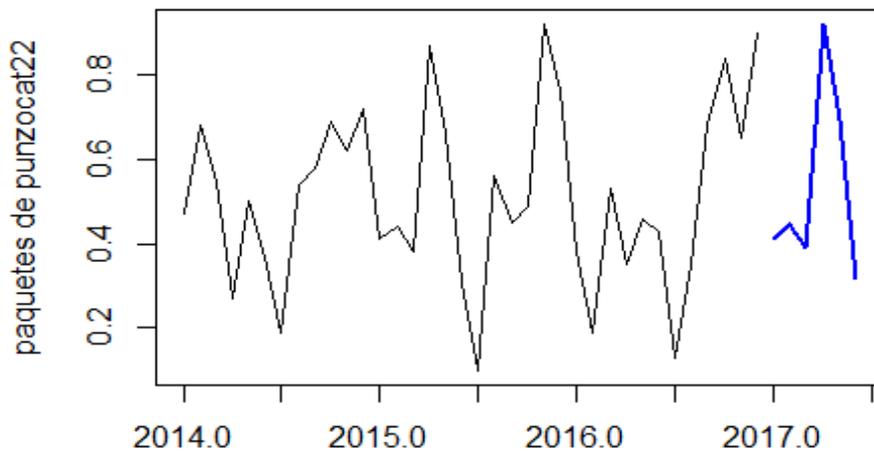


Gráfico 37 Pronóstico de la demanda de paquetes de punzocat 22. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	0.4115495	0.4115495	0.4115495
## Feb 2017	0.4456731	0.4456731	0.4456731
## Mar 2017	0.3896394	0.3896394	0.3896394
## Apr 2017	0.9193717	0.9193717	0.9193717
## May 2017	0.6942105	0.6942105	0.6942105
## Jun 2017	0.3184165	0.3184165	0.3184165

Pronóstico de demanda de paquetes de Hartman

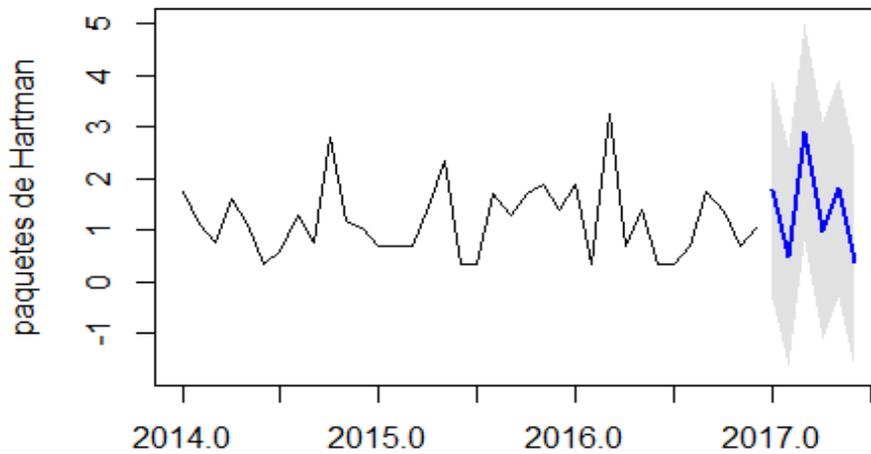


Gráfico 38 Pronóstico de la demanda de paquetes de Hartman. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	1.7804873	-0.3230861	3.884061
## Feb 2017	0.4875957	-1.6159777	2.591169
## Mar 2017	2.9012312	0.7976578	5.004805
## Apr 2017	0.9875231	-1.1160503	3.091096
## May 2017	1.8231584	-0.2804150	3.926732
## Jun 2017	0.3882765	-1.7152969	2.491850

Pronóstico de demanda de paquetes de expansores de plasma

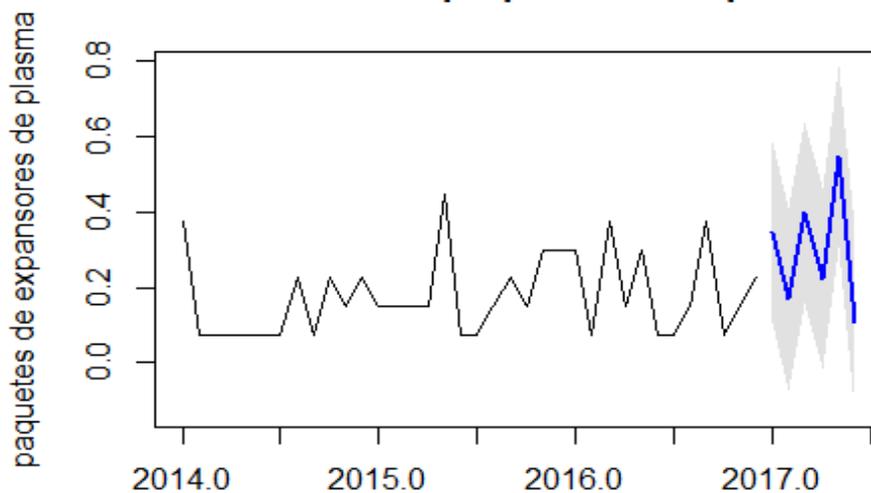


Gráfico 39 Pronóstico de la demanda de paquetes de expansores de plasma. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	0.3461223	0.10542805	0.5868165
## Feb 2017	0.1682081	-0.07248614	0.4089023
## Mar 2017	0.3997484	0.15905416	0.6404426
## Apr 2017	0.2228271	-0.01786712	0.4635213
## May 2017	0.5477775	0.30708328	0.7884717
## Jun 2017	0.1090177	-0.13167647	0.3497119

Pronóstico de demanda de botes de NaCl

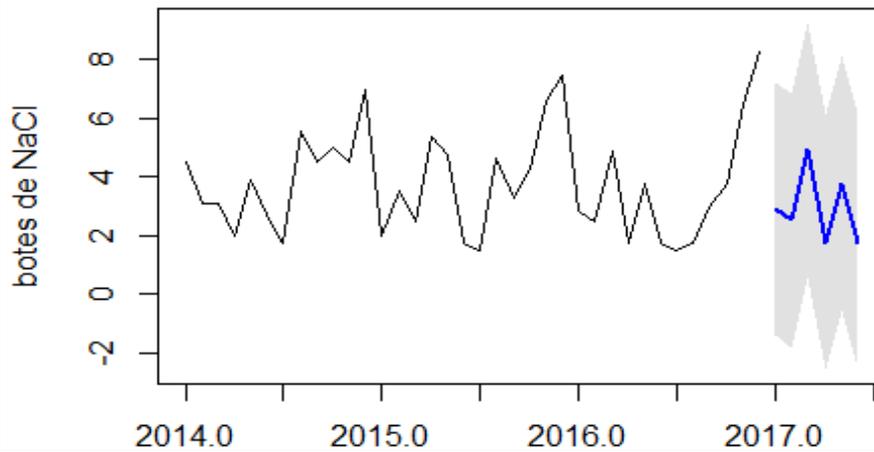


Gráfico 40 Pronóstico de la demanda botes de NaCl. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	2.905934	-1.4363225	7.248191
## Feb 2017	2.526875	-1.8153815	6.869132
## Mar 2017	4.927360	0.5851031	9.269617
## Apr 2017	1.768779	-2.5734778	6.111036
## May 2017	3.790205	-0.5520520	8.132462
## Jun 2017	1.768746	-2.5735113	6.111002

Pronóstico de demanda de paquetes de Glucosa5

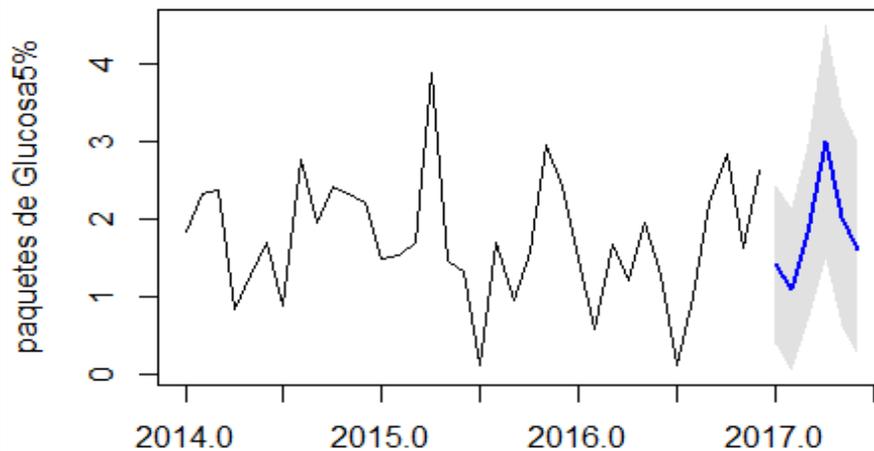


Gráfico 41 Pronóstico de la demanda de paquetes de Glucosa 5%. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	1.424478	0.39664432	2.452312
## Feb 2017	1.092393	0.05403191	2.130753
## Mar 2017	1.822065	0.68865004	2.955480
## Apr 2017	2.997452	1.48436661	4.510537
## May 2017	2.035446	0.62947253	3.441420
## Jun 2017	1.606976	0.22749731	2.986456

Pronóstico de demanda de paquetes de jeringa

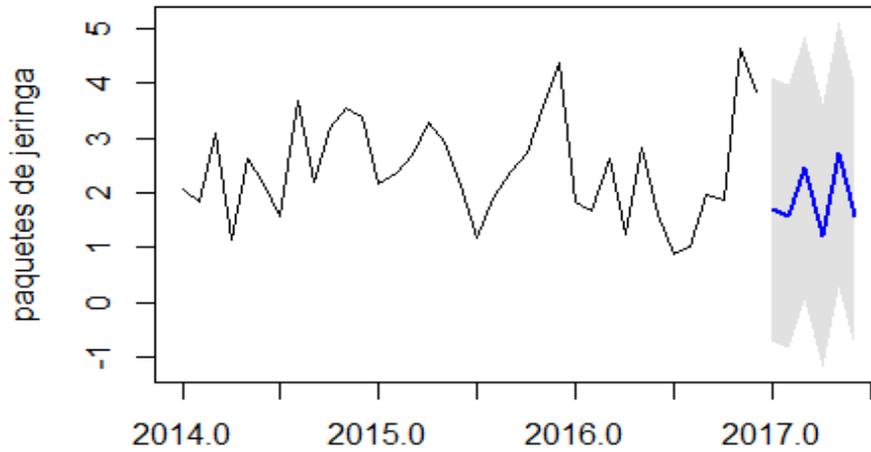


Gráfico 42 Pronóstico de la demanda de paquetes de jeringas. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	1.705860	-0.69390923	4.105630
## Feb 2017	1.570077	-0.83164713	3.971801
## Mar 2017	2.466423	0.05615173	4.876693
## Apr 2017	1.205621	-1.19721431	3.608456
## May 2017	2.714145	0.28727516	5.141015
## Jun 2017	1.563836	-0.84573228	3.973404

Pronóstico de demanda de paquetes de diasepam

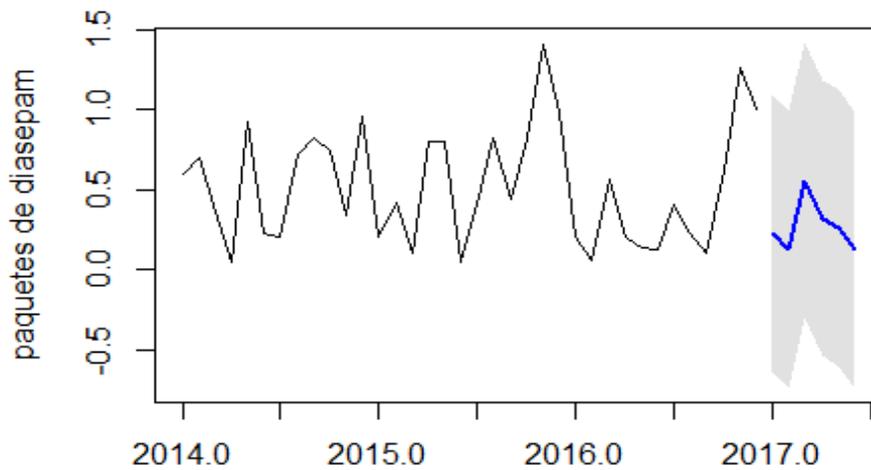


Gráfico 43 Pronóstico de la demanda de paquetes de diasepam. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99	Hi 99
## Jan 2017	0.2245163	-0.6370598	1.0860924
## Feb 2017	0.1233523	-0.7382238	0.9849284
## Mar 2017	0.5557980	-0.3057781	1.4173741
## Apr 2017	0.3179609	-0.5436152	1.1795370
## May 2017	0.2585613	-0.6030148	1.1201374
## Jun 2017	0.1216017	-0.7399744	0.9831778

Pronóstico de demanda de paquetes de midasola

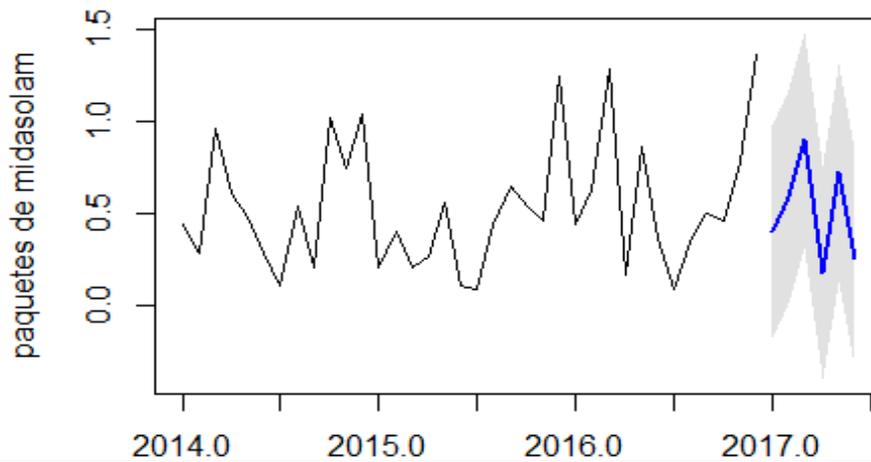


Gráfico 44 Pronóstico de la demanda de paquetes de midasolam. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99	Hi 99
## Jan 2017	0.3988602	-0.181985015	0.9797054
## Feb 2017	0.5870655	0.005019907	1.1691110
## Mar 2017	0.8948301	0.309667062	1.4799932
## Apr 2017	0.1749858	-0.406061220	0.7560327
## May 2017	0.7179423	0.124196754	1.3116878
## Jun 2017	0.2490161	-0.333604241	0.8316364

Pronóstico de demanda de paquetes de atropina

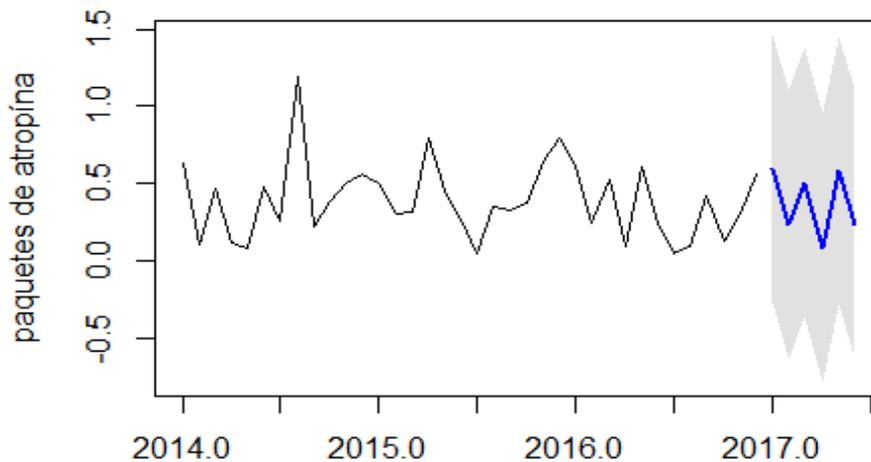


Gráfico 45 Pronóstico de la demanda de paquetes de atropina. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	0.59457759	-0.2720200	1.461175
## Feb 2017	0.23971388	-0.6268837	1.106311
## Mar 2017	0.50811841	-0.3584792	1.374716
## Apr 2017	0.08627143	-0.7803262	0.952869
## May 2017	0.58464103	-0.2819566	1.451239
## Jun 2017	0.23957085	-0.6270268	1.106168

Pronóstico de demanda de paquetes de diclofenaco

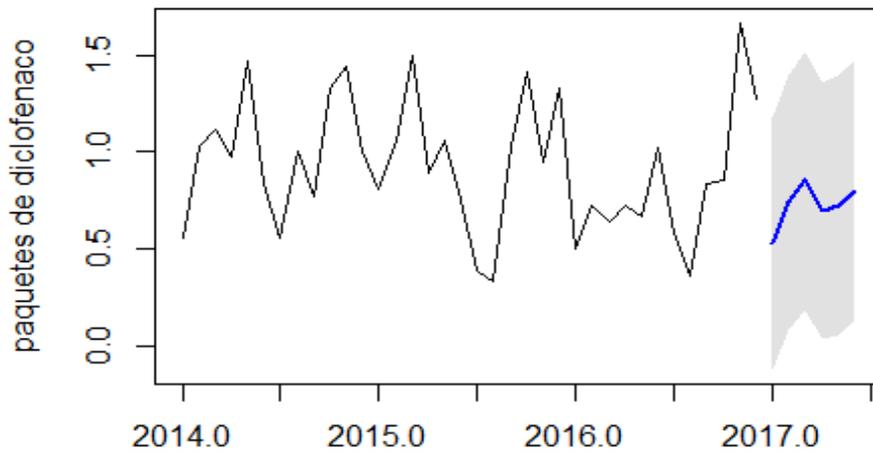


Gráfico 46 Pronóstico de la demanda de paquetes de diclofenaco. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	0.5300403	-0.12326699	1.183348
## Feb 2017	0.7387301	0.07932768	1.398133
## Mar 2017	0.8524486	0.18671031	1.518187
## Apr 2017	0.6936998	0.02987525	1.357524
## May 2017	0.7234113	0.05503250	1.391790
## Jun 2017	0.8020787	0.12607600	1.478081

Pronóstico de demanda de paquetes de Ketorolaco

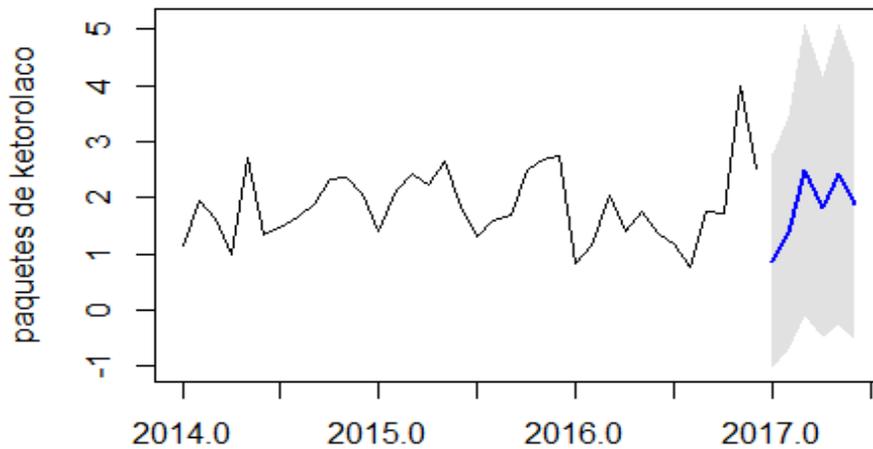


Gráfico 47 Pronóstico de la demanda de paquetes de Ketorolaco. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	0.8738903	-1.0235248	2.771305
## Feb 2017	1.3799369	-0.6947022	3.454576
## Mar 2017	2.5036910	-0.1040819	5.111464
## Apr 2017	1.8317002	-0.4985826	4.161983
## May 2017	2.4153204	-0.2699582	5.100599
## Jun 2017	1.8934707	-0.5456847	4.332626

Pronóstico de demanda de paquetes de nalbufina

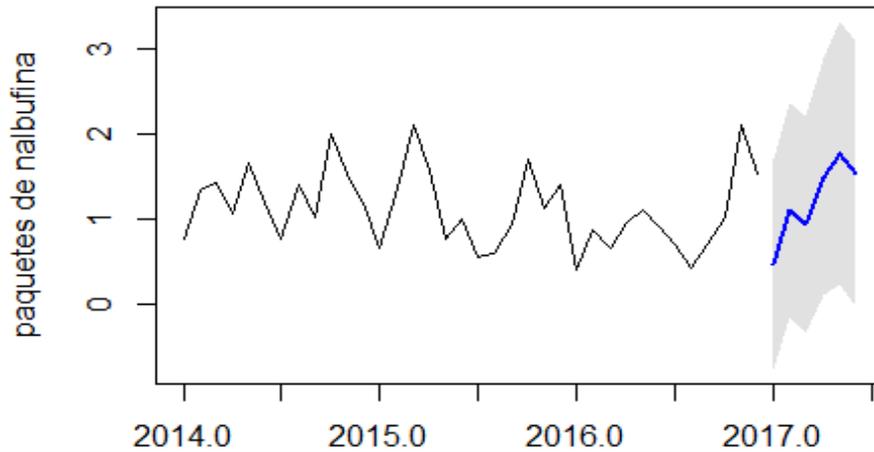


Gráfico 48 Pronóstico de la demanda de paquetes de Nalbufina. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	0.4731855	-0.7552586	1.701897
## Feb 2017	1.1047768	-0.14630925	2.355863
## Mar 2017	0.9415605	-0.32341731	2.206538
## Apr 2017	1.4969501	0.11230710	2.881593
## May 2017	1.7717801	0.22891541	3.314645
## Jun 2017	1.5307303	-0.02370311	3.085164

Pronóstico de demanda de paquetes de adrenalina

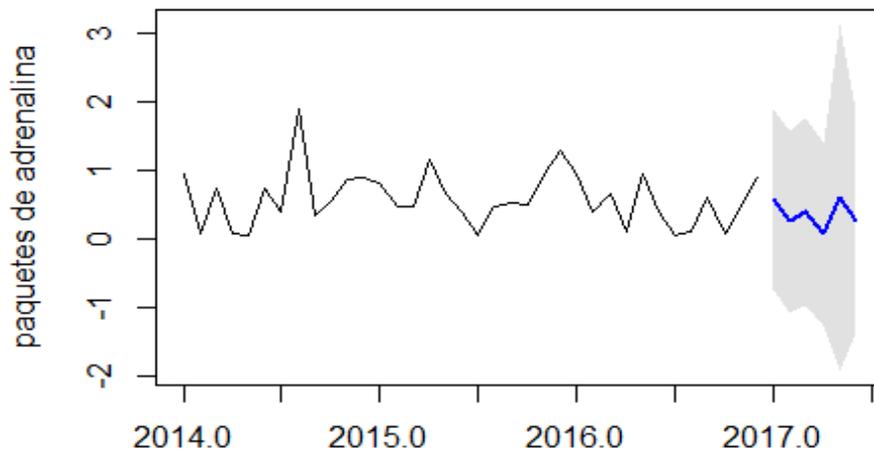


Gráfico 49 Pronóstico de la demanda de paquetes de adrenalina. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	0.57831717	-0.7429377	1.899572
## Feb 2017	0.25460585	-1.0707377	1.579949
## Mar 2017	0.39433229	-0.9862749	1.774940
## Apr 2017	0.07117893	-1.2527745	1.395132
## May 2017	0.61183906	-1.9199116	3.143590
## Jun 2017	0.25982921	-1.3564322	1.876091

Pronóstico de demanda de paquetes de difenilhidantoína

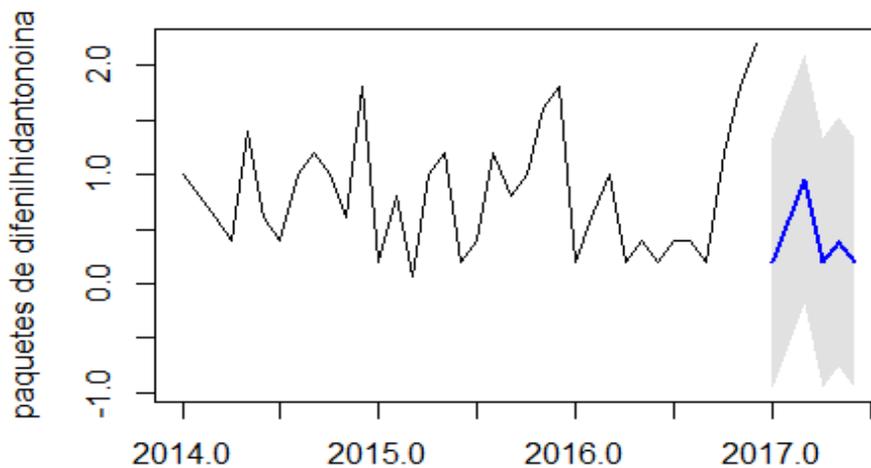


Gráfico 50 Pronóstico de la demanda de paquetes de difenilhidantoína. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99	Hi 99
## Jan 2017	0.1915259	-0.9497209	1.332773
## Feb 2017	0.5744875	-0.5667593	1.715734
## Mar 2017	0.9573280	-0.1839188	2.098575
## Apr 2017	0.1914352	-0.9498117	1.332682
## May 2017	0.3828090	-0.7584379	1.524056
## Jun 2017	0.1913736	-0.9498732	1.332620

Pronóstico de demanda de paquetes de Butiliosci

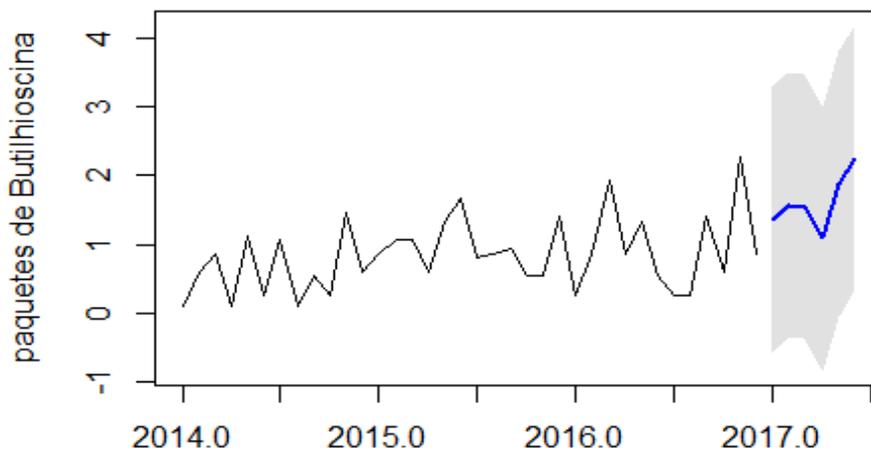


Gráfico 51 Pronóstico de la demanda de paquetes de Butilioscina. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	1.355522	-0.56940194	3.280447
## Feb 2017	1.567182	-0.35774207	3.492107
## Mar 2017	1.551064	-0.37385998	3.475989
## Apr 2017	1.089113	-0.83581123	3.014037
## May 2017	1.882717	-0.04220691	3.807642
## Jun 2017	2.254099	0.32917518	4.179024

Pronóstico de demanda de paquetes de metamisol

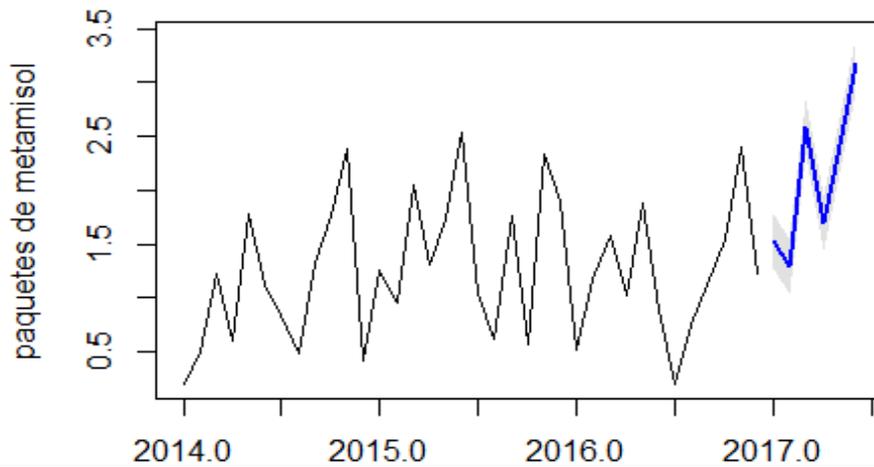


Gráfico 52 Pronóstico de la demanda de paquetes de metamisol. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99	Hi 99
## Jan 2017	1.518592	1.266277	1.770908
## Feb 2017	1.293154	1.040838	1.545470
## Mar 2017	2.584593	2.332277	2.836908
## Apr 2017	1.693280	1.440965	1.945596
## May 2017	2.415804	2.163488	2.668120
## Jun 2017	3.174258	2.921942	3.426574

Pronóstico de demanda de paquetes de bicarbonato de sodio

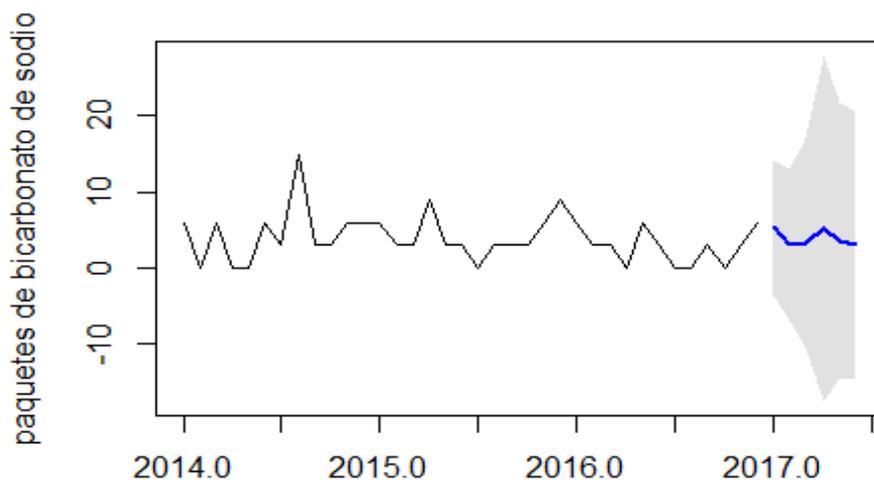


Gráfico 53 Pronóstico de la demanda de paquetes de bicarbonato de sodio. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	5.423605	-3.406304	14.25351
## Feb 2017	3.053617	-6.921719	13.02895
## Mar 2017	3.391016	-10.361524	17.14356
## Apr 2017	5.241971	-17.428597	27.91254
## May 2017	3.627960	-14.417709	21.67363
## Jun 2017	3.071459	-14.525999	20.66892

Pronóstico de demanda de paquetes de gasas

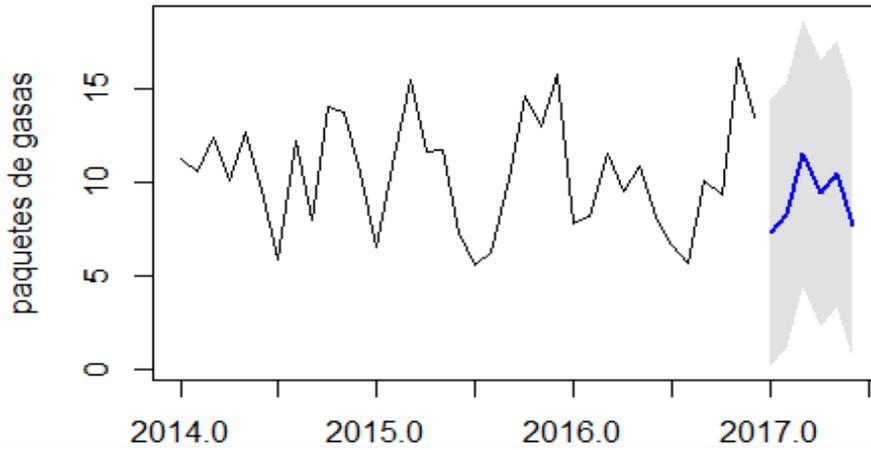


Gráfico 54 Pronóstico de la demanda de paquetes de gasas. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	7.349031	0.2451612	14.45290
## Feb 2017	8.283799	1.1799294	15.38767
## Mar 2017	11.596965	4.4930955	18.70083
## Apr 2017	9.426140	2.3222700	16.53001
## May 2017	10.511493	3.4076237	17.61536
## Jun 2017	7.752946	0.6490762	14.85682

Pronóstico de demanda de paquetes de vendas 10

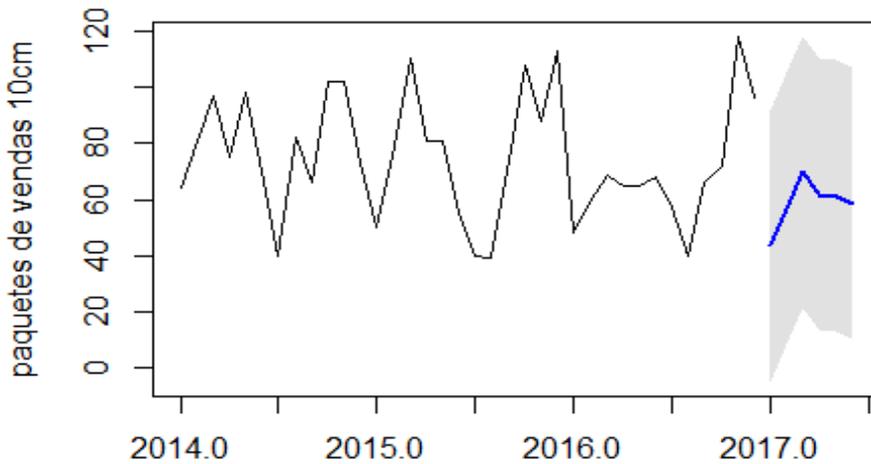


Gráfico 55 Pronóstico de la demanda de paquetes de vendas 10 cm. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	43.56705	-4.785198	91.91931
## Feb 2017	56.80320	8.450951	105.15545
## Mar 2017	69.69560	21.343347	118.04785
## Apr 2017	61.35465	13.002398	109.70690
## May 2017	61.29531	12.943060	109.64756
## Jun 2017	58.54263	10.190377	106.89488

Pronóstico de demanda de paquetes de vendas 5c

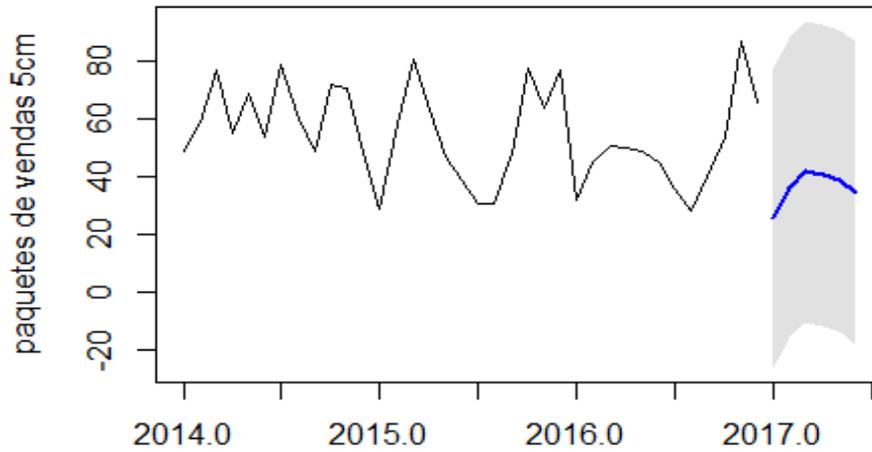


Gráfico 56 Pronóstico de la demanda de paquetes de vendas 5 cm. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	25.65227	-26.23236	77.53691
## Feb 2017	36.30685	-15.78011	88.39381
## Mar 2017	41.76127	-10.53842	94.06095
## Apr 2017	40.55864	-11.83402	92.95130
## May 2017	38.68924	-13.77558	91.15406
## Jun 2017	34.46181	-17.99047	86.91410

Pronóstico de demanda de botes de jabón anticéptico

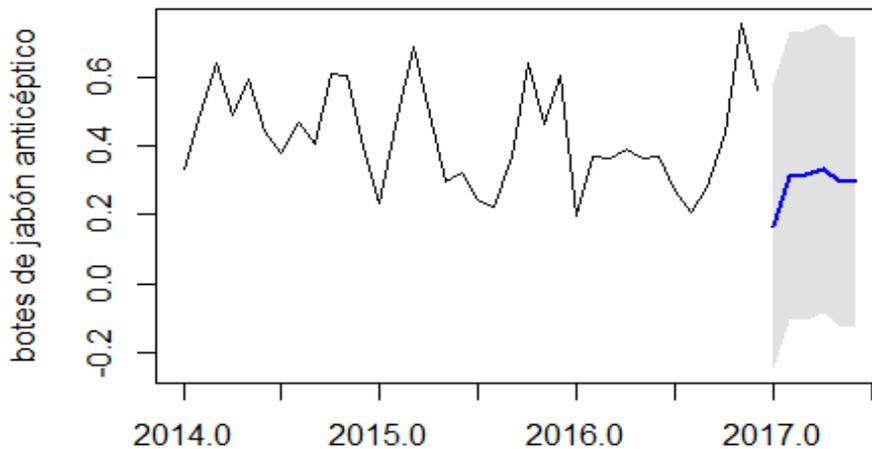


Gráfico 57 Pronóstico de la demanda de botes de jabón antiséptico. Realizado con R

##	Point Forecast	Lo 99.9	Hi 99.9
## Jan 2017	0.1671544	-0.24585405	0.5801629
## Feb 2017	0.3121971	-0.10459965	0.7289938
## Mar 2017	0.3143916	-0.10375359	0.7325368
## Apr 2017	0.3342975	-0.08604006	0.7546350
## May 2017	0.2977806	-0.12222796	0.7177892
## Jun 2017	0.2936751	-0.12757344	0.7149236

Pronóstico de demanda de botes de solución isotór

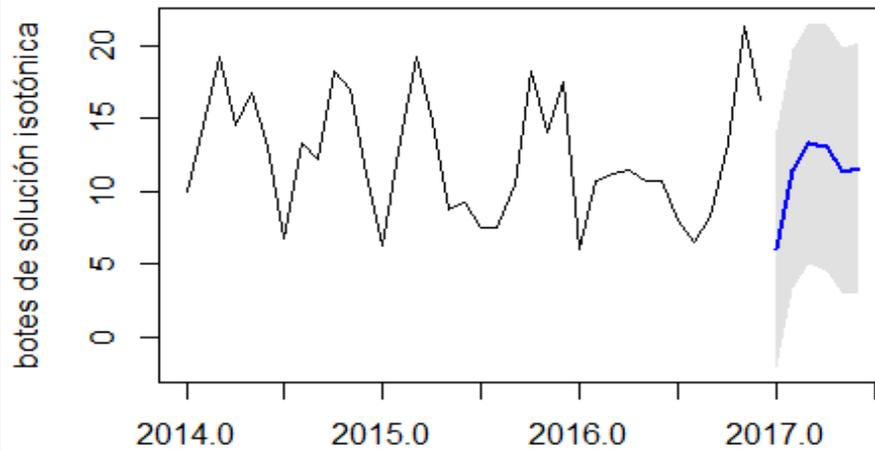


Gráfico 58 Pronóstico de la demanda de botes de solución isotónica. Realizado con R

```
## Point Forecast Lo 99.9 Hi 99.9
## Jan 2017 6.069485 -2.060843 14.19981
## Feb 2017 11.497552 3.324028 19.67107
## Mar 2017 13.283432 5.011310 21.55555
## Apr 2017 12.999435 4.616662 21.38221
## May 2017 11.375156 2.930785 19.81953
## Jun 2017 11.569607 2.955684 20.18353
```

Anexo 2

Evaluación experimento 11

ScheduledUtilization - Percent

Object Name	Data Source	Category	Value
Inventarioadrenalina	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioapósitos	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioatropína	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariobicarbonatodesodio	[Resource]	Capacity	99.99998
InventarioButilioscina	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariocanulanasal	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariocanulayankawer	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioDiasepam	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariodiclofenaco	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariodifenilhidantonoina	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioelectrodo	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioexpansoresdeplasma	[Resource]	Capacity	71.81719
Inventariofijadordetubo	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariogasas	[Resource]	Capacity	99.99995
InventarioGlucosa	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarioguantelatex	[Resource]	Capacity	99.99995
Inventarioguantespoлиuretano	[Resource]	Capacity	99.99996
InventarioHartmann	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariojabónantiséptico	[Resource]	Capacity	99.99995
InventarioJeringa	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarioketorolaco	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariomascarillalaringea	[Resource]	Capacity	99.99997

ScheduledUtilization - Percent			
Object Name	Data Source	Category	Value
Inventariometamisol	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioMidasolam	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariomscarillafacial	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioNaCl	[Resource]	Capacity	99.99998
InventarioNalbufina	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopapelderegistro	[Resource]	Capacity	90.21695
Inventariopaquetevenopunsi3n	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariopunzocat14	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariopunzocat16	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopunzocat18	[Resource]	Capacity	98.28035
Inventariopunzocat20	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopunzocat22	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarioreservorio	[Resource]	Capacity	81.91444
Inventariosoluci3nisot3nica	[Resource]	Capacity	99.99995
Inventariotelaadhesiva	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventariotuborotraqueal	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariovendas10cm	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventariovendas5cm	[Resource]	Capacity	94.27193
Inventariovenoset	[Resource]	Capacity	85.4205
Inventariooxigeno	[Resource]	Capacity	89.38246

Tabla 18 Reporte del % de ocupaci3n del Server del experimento 11. Realizado con SIMIO

Evaluaci3n experimento 10

ScheduledUtilization - Percent			
Object Name	Data Source	Category	Value
Inventarioadrenalina	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioap3sitos	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioatropina	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariobicarbonatodesodio	[Resource]	Capacity	99.99998
InventarioButilhioscina	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariocanulanasal	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariocanulayankawer	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioDiasepam	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariodiclofenaco	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariodifenilhidantonoina	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioelectrodo	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioexpansoresdeplasma	[Resource]	Capacity	71.81719
Inventariofijadordetubo	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariogasas	[Resource]	Capacity	98.6691
InventarioGlucosa	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarioguanteslatex	[Resource]	Capacity	99.99995
Inventarioguantespoliuretano	[Resource]	Capacity	99.99996
InventarioHartmann	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariojab3nantic3ptico	[Resource]	Capacity	99.99995
InventarioJeringa	[Resource]	Capacity	89.99871
Inventarioketorolaco	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariomascarillalaringea	[Resource]	Capacity	99.99997

ScheduledUtilization - Percent			
Object Name	Data Source	Category	Value
Inventariometamisol	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioMidasolam	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariomscarillafacial	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioNaCl	[Resource]	Capacity	99.99998
InventarioNalbufina	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopapelderegistro	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventariopaquetevenopunsi n	[Resource]	Capacity	76.8205
Inventariopunzocat14	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariopunzocat16	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopunzocat18	[Resource]	Capacity	79.6219
Inventariopunzocat20	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopunzocat22	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarioreservorio	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariosoluciónisotónica	[Resource]	Capacity	99.99995
Inventariotelaaadhesiva	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventariotuborotraqueal	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioventas10cm	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventarioventas5cm	[Resource]	Capacity	95.19202
Inventariovenoset	[Resource]	Capacity	97.35182
Inventariooxigeno	[Resource]	Capacity	49.89097

Tabla 19 Reporte del % de ocupación del Server del experimento 10. Realizado con SIMIO

Evaluación experimento 4

ScheduledUtilization - Percent			
Object Name	Data Source	Category	Value
Inventarioadrenalina	[Resource]	Capacity	68.97432
Inventarioopósitos	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariootropína	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariobicarbonatodesodio	[Resource]	Capacity	99.99998
InventarioButilhioscina	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariocanulanasal	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariocanulayankawer	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioDiasepam	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariodiclofenaco	[Resource]	Capacity	96.9841
Inventariodifenilhidantonoina	[Resource]	Capacity	91.11546
Inventarioelectrodo	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioexpansoresdeplasm a	[Resource]	Capacity	71.81719
Inventariofijadordetubo	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariogasas	[Resource]	Capacity	96.82086
InventarioGlucosa	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarioganteslatex	[Resource]	Capacity	99.99995
Inventariogantespoliuretano	[Resource]	Capacity	71.29553
InventarioHartmann	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariobónanticéptico	[Resource]	Capacity	99.99995
InventarioJeringa	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarioketorolaco	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariomascarillalaringea	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariometamisol	[Resource]	Capacity	99.99997

ScheduledUtilization - Percent

Object Name	Data Source	Category	Value
InventarioMidasolam	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariomscarillafacial	[Resource]	Capacity	99.99997
InventarioNaCl	[Resource]	Capacity	99.99998
InventarioNalbufina	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopapelderegistro	[Resource]	Capacity	80.23016
Inventariopaquetevenopunsi n	[Resource]	Capacity	78.83834
Inventariopunzocat14	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariopunzocat16	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopunzocat18	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopunzocat20	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventariopunzocat22	[Resource]	Capacity	99.99998
Inventarioreservorio	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventariosolucionisotónica	[Resource]	Capacity	91.9609
Inventariotelaadhesiva	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventariotuborotraqueal	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioendas10cm	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventarioendas5cm	[Resource]	Capacity	99.99996
Inventarioenonet	[Resource]	Capacity	99.99997
Inventarioxigeno	[Resource]	Capacity	50.00747

Tabla 20 Reporte del % de ocupación del Server del experimento 4. Realizado con SIM