

MODELO PARA LA PLANEACIÓN DE PRODUCCIÓN DE COMPONENTES
SANGUÍNEOS EN UN BANCO DE SANGRE DE LA CIUDAD DE CALI

ANGÉLICA ARCINIEGAS MÉNDEZ
MARÍA DEL PILAR SALAZAR MOSQUERA

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2012

MODELO PARA LA PLANEACIÓN DE PRODUCCIÓN DE COMPONENTES
SANGUÍNEOS EN UN BANCO DE SANGRE DE LA CIUDAD DE CALI

ANGÉLICA ARCINIEGAS MÉNDEZ
MARÍA DEL PILAR SALAZAR MOSQUERA

Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniera Industrial

TUTOR: ANDRÉS FELIPE OSORIO MURIEL
MAGISTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2012

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Dios por habernos dado la fortaleza para hacer frente a las dificultades y tomar las decisiones correctas en los tiempos que nos habíamos planteado. Por permitirnos terminar este proceso con éxito y haber sido una experiencia enriquecedora personal y profesionalmente.

Además, queremos agradecer a todas las personas que estuvieron involucradas de forma motivacional y técnica en la exitosa culminación de este proyecto de grado, especialmente a nuestras familias y profesores. Las primeras siempre fueron el apoyo constante y la fuerza inquebrantable que nos impulsaba a seguir adelante y todos nuestros profesores, fueron personas siempre dispuestas a transmitir su conocimiento, a impulsarnos en una actitud investigativa y a brindarnos ayuda en el momento en que la necesitáramos. Resaltamos la labor de:

Andrés Felipe Osorio: Profesor de tiempo completo de la universidad Icesi y tutor temático del proyecto. A él le agradecemos haber estado siempre atento a nuestras dudas, escuchar nuestros argumentos y dispuesto a asesorarnos en cualquier momento del proceso.

Jairo Guerrero Bueno: Profesor de la universidad Icesi y tutor metodológico del proyecto. Le agradecemos ser una compañía constante en términos metodológicos y técnicos y ser la persona a la que podíamos recurrir ante cualquier eventualidad con la certeza de que él sabría orientarnos de la mejor manera.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. TEMÁTICA	20
1.1. TÍTULO DEL PROYECTO	20
1.2. DELIMITACIÓN Y ALCANCE	20
1.3. PROBLEMA A TRATAR	21
1.3.1. Análisis del problema.	21
1.3.2. Pregunta de investigación.	24
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	24
2. OBJETIVOS	27
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	27
2.2. OBJETIVO DEL PROYECTO	27
2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
3. MARCO DE REFERENCIA	28
3.1. ANTECEDENTES	28
3.1.1. Planeación de la recolección.....	29
3.1.2. Planeación de la demanda	34
3.1.3. Inventarios perecederos.	35
3.2. MARCO TEÓRICO	40
3.2.1. Planeación de la demanda.	40
3.2.2. Inventarios perecederos.	42

3.3. APORTE INTELECTUAL	45
4. METODOLOGÍA	47
5. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO	49
5.1. RECURSOS.....	49
5.2. MATRIZ DE MARCO LÓGICO	50
6. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	53
6.1. Analizar los procesos del banco de sangre y sus restricciones	53
6.1.1 Diagramas de flujo para la validación del proceso de producción	53
6.1.2 Restricciones encontradas	59
6.1.3 Plan estratégico o de largo plazo del banco de sangre	59
6.2. Diseñar un modelo para el abastecimiento de la demanda de componentes sanguíneos	59
6.2.1 Análisis de Productos.....	59
6.2.1 Clasificación de la demanda de los productos.....	60
6.2.3 Modelo	71
6.2.4 Validación de parámetros e inventarios de seguridad	74
6.3. Validar el modelo	74
6.4. Desarrollar un entregable definiendo cuáles serían los lineamientos para la implementación del modelo.....	75
6.4.1 Guía	75
6.4.2 Recomendaciones de uso	84
7. CONCLUSIONES	86
7.1 Conclusiones respecto modelo	86
7.2 Conclusiones respecto al banco de sangre	86

8. RECOMENDACIONES	87
8.1 Recomendaciones respecto a la herramienta	87
8.2 Recomendaciones respecto al banco de sangre	87
9. FUTURAS INVESTIGACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	90
ANEXOS.....	94

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Políticas para la recolección de sangre en los campos de donación	31
Tabla 2. Estrategia metodológica	47
Tabla 3. Matriz de Marco Lógico	50
Tabla 4. Obtención de componentes sanguíneos a partir de los kit de bolsa	56
Tabla 5. Compatibilidad Glóbulos Rojos.....	57
Tabla 6. Compatibilidad Crioprecipitado y Plasma (No requiere compatibilidad de Rh).....	57
Tabla 7. Compatibilidad Plaqueta (No requiere compatibilidad de grupo sanguíneo)	57
Tabla 8. Productos sanguíneos.....	59
Tabla 9. Decisión de componentes a pronosticar	63
Tabla 10. Esquema de costos	69

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Gasto per cápita de Colombia en el sector salud	25
Ilustración 2. Costo total Modelo [Q, T]	31
Ilustración 3. Costo total Modelo [R, T].....	32
Ilustración 4. Categorización de la demanda.....	61
Ilustración 5. Patrones de demanda de lento movimiento y a grumos	62

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO 1 Pronósticos de demanda	94
ANEXO 2 Inventarios de seguridad.....	94
ANEXO 3 Resultados periodos de 5 días.....	94

INTRODUCCIÓN

Un banco de sangre es todo establecimiento o dependencia con Licencia Sanitaria de Funcionamiento para adelantar actividades relacionadas con la obtención, procesamiento y almacenamiento de sangre humana destinada a la transfusión de la sangre total o en componentes separados, a procedimientos de aféresis y a otros procedimientos preventivos, terapéuticos y de investigación, Ministerio de Salud (1993)¹.

Los bancos de sangre cumplen la labor fundamental de conseguir la cantidad suficiente de donantes para hacer frente a situaciones de emergencia y abastecer la demanda de componentes sanguíneos proveniente de las instituciones que atienden. A pesar de la importancia de su labor, su principal reto es conseguir el número necesario de donantes. El proceso de donación es de forma voluntaria y a pesar de las múltiples campañas no hay una verdadera conciencia de la importancia de ésta, lo que se ve reflejado en que sólo 5% de las personas aptas para donar realmente lo hacen, Beliën, Jeroen y Forcé (2011).²

Por otra parte, existen restricciones de tiempo entre una donación y otra, esto hace que los donantes sean considerados como un recurso escaso para la sociedad. Adicionalmente, se presentan diferencias entre las proporciones de los tipos de sangre, existiendo unos predominantes y otros supremamente escasos.

En ese orden de ideas se requiere entonces aprovechar al máximo la sangre captada. Sin embargo, a diario los bancos de sangre realizan acciones que evidencian diferentes problemas en el proceso de planeación de su producción. Por ejemplo, desechan productos que han caducado, compran componentes sanguíneos a entidades externas y posponen cirugías y procedimientos, entre otras.

Uno de los componentes importantes en la producción de productos sanguíneos, es que los procesos utilizados para la obtención de estos son multiproductos.

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 1571 (12, Agosto,1993). Por el cual se reglamenta parcialmente Título IX de la Ley 09 de 1979, en cuanto a funcionamiento de establecimientos dedicados a la extracción, procesamiento, conservación y transporte de sangre total o de sus hemoderivados, se crean la Red Nacional de Bancos de Sangre y el Consejo Nacional de Bancos de Sangre y se dictan otras disposiciones sobre la materia. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1993, p.1-38.

² BELIËN, Jeroen y FORCÉ Hein. Supply chain management of blood products: A literature review. En: European Journal of Operation Reach. Mayo, 2011. vol. 17, no. 1, p. 1-16.

Además, el cubrimiento de la demanda de componentes se puede hacer mediante otros productos, ya que existen hemocomponentes que son compatibles con otros.

Durante el desarrollo de este proyecto de grado se tuvo contacto con varios bancos de sangre y se evidenció que en general no existe una estrategia de planeación de la producción eficiente y las decisiones sobre el tipo de kit a utilizar en la recolección y la forma de procesarlo son típicamente tomadas por el personal médico que realiza la extracción, quienes de forma empírica tienen en cuenta el inventario de componentes sanguíneos y la posible demanda con base en los pacientes hospitalizados.

Esto tiene varias implicaciones para el banco de sangre. En primer lugar, los costos de procesamiento son altos dado que la separación de componentes utiliza equipos especializados, productos reactivos y mano de obra calificada. El hecho de tomar las decisiones de producción sin utilizar una estrategia eficiente que involucre los costos de los procesos puede significar sobreproducción que reditúa en sobrecostos.

Otra de las implicaciones es el vencimiento de productos almacenados, ya que los componentes sanguíneos tienen ciclos de vida cortos y diferentes y la producción de éstos sin tener en cuenta una planeación de la demanda conlleva a frecuentes descartes por vencimientos. Una estrategia para disminuir la caducidad en las propias instalaciones, consiste en donar los productos que están próximos a vencerse a otras entidades. Los bancos de sangre a menudo realizan campañas de donación y esto hace que se capte una gran cantidad de sangre en periodos específicos de tiempo. Si no existe una planeación hay un riesgo de que muchos de los componentes puedan caducar.

Por otra parte, la falta de planeación en la producción implica faltantes en el cubrimiento de la demanda de los productos. Esto tiene consecuencias serias dado que deben buscar en entidades externas los componentes y pagar un costo alto por ellos. Por lo tanto, un gran objetivo del banco de sangre analizado es ser autosuficiente, lo que implica que sean capaces de cubrir su demanda a partir de la sangre captada por sus propios medios.

Este proyecto de grado propone un modelo de programación lineal para la planeación del proceso de producción de hemocomponentes, cuya entrada se basa en datos de demanda. El modelo soporta las decisiones de formas de extracción y procesamiento con el fin de satisfacer la demanda de los diferentes componentes sanguíneos. Éste propende la minimización de lo que se ha llamado

costos más penalizaciones para atender la demanda de un periodo de cinco (5) días. Además, por medio de los pronósticos desarrollados y simulación Montecarlo se establecen inventarios de seguridad para cada uno de los hemocomponentes.

1. TEMÁTICA

1.1. TÍTULO DEL PROYECTO

El proyecto se titula: *“Modelo para la planeación de producción de componentes sanguíneos en un banco de sangre de la ciudad de Cali”*.

1.2. DELIMITACIÓN Y ALCANCE

Este proyecto es una continuación a una de las problemáticas identificadas por las estudiantes Alma Valeria Bustamante y Laura Ordoñez en su trabajo de grado titulado “Propuesta de mejora en la logística hospitalaria del banco de sangre de una IPS de la ciudad de Cali”, en donde se documentó que no existía una planeación de la demanda del kit de bolsa que se debía poner al donante. Frente al problema ellas hicieron un primer acercamiento y decidieron implementar métodos de pronóstico.

Con este nuevo proyecto se busca elaborar un modelo que permita hacer una asignación eficiente del tipo de bolsa que se debe poner al donante al momento de la flebotomía y su forma de procesarlo, teniendo en cuenta los recursos utilizados, la demanda y los componentes en inventario.

El modelo se desarrollará solamente para las bolsas de sangre involucradas en el proceso de donación y se asumirá que los costos proporcionados son los correspondientes a la realidad. Se utilizarán los datos históricos de demanda para validar el modelo, pero cuando esté en funcionamiento se deberá tener en cuenta los pronósticos de demanda.

El proyecto tendrá una duración de un año y se llevará a cabo en dos etapas. En la primera de ellas, se establecerá la metodología y la fundamentación teórica sobre algunos aspectos de interés de un banco de sangre. En la segunda etapa, se validará el proceso de producción de los componentes sanguíneos y se desarrollará el modelo matemático con base en los datos suministrados por el banco de sangre.

1.3. PROBLEMA A TRATAR

1.3.1. Análisis del problema. Según el Ministerio de Salud³, un banco de sangre es todo establecimiento o dependencia con Licencia Sanitaria de Funcionamiento para adelantar actividades relacionadas con la obtención, procesamiento y almacenamiento de sangre humana destinada a la transfusión de la sangre total o en componentes separados, a procedimientos de aféresis y a otros procedimientos preventivos, terapéuticos y de investigación. Tiene como uno de sus objetivos asegurar la calidad de la sangre y sus derivados.

Existen dos tipos de instituciones. El primero se conoce como banco de sangre dependiente, que hace referencia a todos aquellos que desde el punto de vista institucional, patrimonial, administrativo, laboral, técnico, científico, presupuestal y financiero constituyen una unidad integral con la institución a la cual pertenecen. El segundo tipo es denominado banco de sangre vinculado, el cual ostenta personería jurídica, patrimonio propio e independiente, autonomía administrativa, presupuestal y financiera y cuenta con una dirección y orientación autónoma, respaldados a través de convenios o contratos celebrados con instituciones que presten servicios de salud, con el objeto de que la institución utilice dentro o fuera de sus instalaciones, en forma parcial o total, los servicios que el banco presta⁴.

La institución en la que se desarrollará este proyecto de grado se define como un banco de sangre dependiente, en el cual sus demandas están sujetas a las necesidades de la entidad a la cual pertenece, ya que uno de sus objetivos es ser autosuficientes en términos de sangre para los procedimientos quirúrgicos.

La materia prima del banco de sangre proviene de la donación, en la que se utilizan sistemas de bolsas plásticas para la recolección del fluido, que tienen diferentes presentaciones y el uso de éstas depende de las necesidades de componentes sanguíneos que tenga el banco de sangre. Existen varios tipos de bolsas: sencillas, múltiples y las destinadas para los procedimientos de aféresis⁵.

Las primeras son utilizadas para la obtención, almacenamiento y transfusión de sangre total. Además, se emplean para los procedimientos de flebotomía

³ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Op.cit., p.2.

⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Op.cit., p.2.

⁵ DUEÑAS, Victor Hugo. Preparación y almacenamiento de componentes sanguíneos. En: El Banco de Sangre. Teoría, principios y procedimientos. 2 ed. Cali: Universidad del Valle, 2003. p. 196.

terapéutica⁶, definiéndose ésta como el proceso mediante el cual se extrae sangre a un paciente con el objeto de reducir el exceso de glóbulos rojos⁷.

Las bolsas múltiples pueden ser dobles, triples y cuádruples. La primera es utilizada para extraer glóbulos rojos concentrados, pero estos hematíes son utilizados únicamente para bebés, ya que contienen una mayor cantidad de hematocrito, debido a las soluciones presentes en la bolsa⁸.

El kit triple se emplea para extraer glóbulos rojos y plasma, y es utilizado siempre que una mujer ha estado en embarazo, ya que el único componente que sirve son los hematíes. Sin embargo, este kit también puede ser utilizado en otro tipo de donantes.

De la bolsa cuádruple se pueden extraer diferentes componentes sanguíneos dependiendo del procesamiento. Por un lado se pueden obtener glóbulos rojos, plasma y plaquetas manuales y por otro, eritrocitos y crioprecipitado⁹.

El área de Separación de Componentes es la encargada de realizar el procesamiento de la sangre. Al inicio todos los kits de bolsa se calibran e introducen en una centrifuga previamente calentada durante 3 minutos. El proceso termina al pasar 20 minutos y se obtiene la separación del plasma y los glóbulos rojos¹⁰, además de una banda leuco-plaquetaria llamada buffy coat¹¹.

Para la bolsa doble, el paso siguiente es pasar los glóbulos rojos a una segunda bolsa, mediante una máquina que es accionada manualmente. En el caso de la bolsa triple, se pasan los glóbulos rojos al segundo compartimiento del kit, el plasma se pasa a la tercera bolsa y en donde se encontraba la sangre total queda el buffy coat que es descartado. A continuación se analiza el estado del plasma, ya que éste puede ser desechado por apariencia (color opaco o verdoso), trali

⁶ Ibid., p. 196.

⁷ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Op.cit., p.2.

⁸ BUSTAMANTE, Alma Valeria y ORDOÑEZ, Laura. Propuesta de mejora en la logística hospitalaria del banco de sangre de una IPS de la ciudad de Cali. Trabajo de grado Ingeniera Industrial. Cali: Universidad Icesi. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial, 211, 59-60 p.

⁹ Ibid., p. 60.

¹⁰ Ibid., p. 59.

¹¹ BALLESTER, Adalberto, *et al.* Obtención de Componentes Sanguíneos. [En línea]. 2012. [Citado 14-Abril-2012]. Disponible en internet: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/hematologia/componentesangre.pdf.pdf>

(mujeres que han estado en embarazo) o por colesterol elevado (aspecto lechoso)¹².

En lo que respecta a la bolsa cuádruple, como se explicó anteriormente, se puede procesar de distintas formas. Para la obtención de glóbulos rojos, plasma y plaquetas manuales, se pasan los primeros a la segunda bolsa y los segundos a la tercera y en la que inicialmente se encontraba la sangre total ahora está solamente el buffy coat que se pone a reposar durante mínimo 2 horas y luego se calibra y centrifuga durante 5 minutos. De este proceso se obtiene que los glóbulos rojos quedan en la parte inferior, en el medio los leucocitos y en la parte superior las plaquetas. Posteriormente, las plaquetas se pasan a la bolsa que se encontraba vacía a través de un separador manual y se dejan reposar durante 2 horas para luego colocarlas en el agitador de plaquetas y la bolsa en la que queda el buffy coat se deposita en una bolsa de incineración.

Para la obtención de glóbulos rojos y crioprecipitado a partir de la bolsa cuádruple, también se separan los tres componentes, los hematíes quedan en la segunda bolsa, el plasma en la tercera y el buffy coat que permanece en la primera es descartado. Luego, se lleva el plasma a un cuarto frío que está a una temperatura de 4°C durante 24 horas, al cabo de las cuales son puestos en la nevera para que se descongelen en 12 horas. Posteriormente, el plasma es retirado de ese lugar y calibrado para ingresarlo a la centrifuga durante 10 minutos. Mediante este proceso se obtiene la separación del crioprecipitado del plasma, el primero queda en la parte baja y el segundo encima. A continuación, haciendo uso de la gravedad se permite que el plasma pase a la cuarta bolsa y se descarta¹³.

Dado que los procesos a los que deben ser sometidos los kit de bolsas son diferentes, el procesamiento para cada una de ellos tiene un costo disímil, asociado a los insumos, tiempo en que deben permanecer en las máquinas, almacenamiento y la mano de obra, que por lo general incluye a bacteriólogos y auxiliares.

Cuando los componentes sanguíneos que demanda la entidad no se encuentran disponibles en el banco de sangre, se inicia un proceso de consecución de los mismos en calidad de préstamo o cambio frente a otros bancos de sangre. Si se presenta el caso de que dichas entidades no posean unidades para destinarlas de la forma especificada, entonces se gestiona un proceso de compra mediante la secretaria del banco de sangre. Esta situación se repite de forma inversa, es decir,

¹² BUSTAMANTE y ORDOÑEZ. Op.cit., p.60.

¹³ BUSTAMANTE y ORDOÑEZ. Op.cit., p.61.

cuando otras instituciones hacen la solicitud de un determinado componente a la entidad donde se desarrolla este proyecto de grado. Además, cuando la fecha de caducidad está cerca, el banco de sangre en estudio decide ofrecer los componentes en donación y en situaciones particulares de emergencia en otras instituciones, se dispone de los componentes sanguíneos con autorización de la jefatura.

La situación problemática se presenta porque la IPS en la que se desarrolla este proyecto de grado realiza una planeación empírica sobre el kit de bolsa que se debe poner al donante al momento de realizar la flebotomía. En su lugar, esta decisión es tomada de forma empírica todos los días por la bacterióloga de turno que tiene en cuenta el inventario de cada hemoderivado y los pacientes hospitalizados. Esto representa para el banco de sangre mayores costos, ya que no cuentan con una herramienta que les permita decidir cuál es el kit de bolsa que deben poner al donante dependiendo del procesamiento que involucre menos recursos, sin dejar de satisfacer la demanda.

Por las razones anteriores, este trabajo de grado se realiza con el fin de comprobar la siguiente hipótesis: *“Con una mejor asignación de los recursos involucrados en el procesamiento de la sangre es posible abastecer la demanda utilizando un menor número de donantes”*.

1.3.2. Pregunta de investigación. ¿Cuál es la manera más eficiente de captar y procesar los componentes sanguíneos?

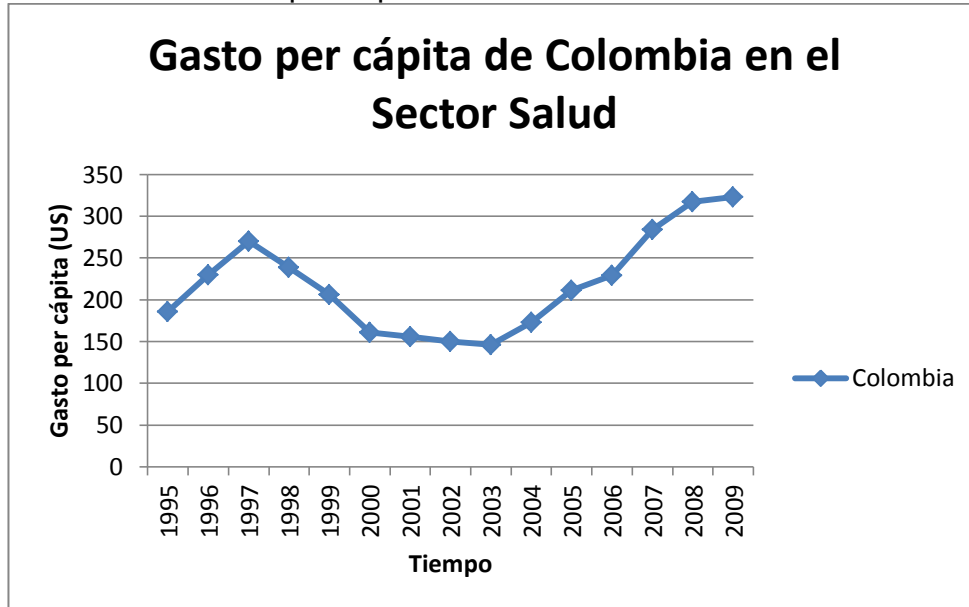
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El sector de la salud ha sido catalogado como uno de los mayores sectores de la economía mundial, ya que según la Organización Mundial de la Salud (OMS), éste alcanzó \$5,5 trillones de dólares en 2009, absorbiendo el equivalente al 8% del PIB mundial. En relación con el producto interno bruto, se considera que el país líder en gasto en salud es Estados Unidos, debido a que invierte el 17% del PIB en este sector. Los países que le siguen son Francia (11%), Suiza (10,8%), Canadá (10%), Suecia (9,1%) y Noruega (9%).

Según los datos de la OMS, después de Argentina y Brasil, Colombia es el tercer país que más invirtió en salud en 2007. Los primeros gastaron 10% y 8% de su PIB en este sector, mientras que nuestro país dedicó el 6,1%. En la Ilustración 1, se puede observar cómo ha sido el aumento del índice per cápita durante los

últimos siete (7) años en Colombia, con lo que se concluye que se ha doblado el gasto per cápita en este sector y por lo tanto se evidencia su importancia¹⁴.

Ilustración 1. Gasto per cápita de Colombia en el sector salud



Fuente: Las autoras.

Por otro lado, está la logística hospitalaria que se apoya en diferentes metodologías de la ingeniería industrial con el propósito de mejorar el uso de los recursos sin deteriorar la calidad de los servicios de salud, disminuir los costos que son trasladados a los usuarios y aumentar la capacidad de cobertura al manejar de manera más eficiente los recursos. Además, el objetivo de la logística hospitalaria es agrupar las operaciones que se realizan en una entidad que presta servicios médicos, para mejorar el funcionamiento de los eslabones de toda la cadena de servicio¹⁵.

Dentro de los problemas de interés de la ingeniería industrial en los servicios de salud, especialmente para la rama de la investigación de operaciones, se encuentra el traslado de pacientes y personal médico, evaluación del

¹⁴ CÁMARA DE COMERCIO DE BARRANQUILLA. Información sobre el Sector Salud. [En línea]. SF. [Citado 21-Abr-2012]. Disponible en internet: http://www.camarabaq.org.co/index.php?option=com_content&view=article&id=419&Itemid=271

¹⁵ AMAYA, Ciro Alberto. Logística hospitalaria: Un desafío para ingenieros industriales. En: Sistemas avanzados de gestión. Organizaciones inteligentes. Cali: Bonaventuriana. p. 105-120.

requerimiento de personal médico y asignación de tareas y trabajos a un conjunto de operarios sujetos a restricciones de satisfacción de los pacientes¹⁶.

En la logística hospitalaria, se ha implementado modelos de ruteo donde se ha propuesto mejorar las rutas para la distribución y recolección de ropas limpias y sucias de las diferentes unidades del hospital, donde es importante tener en cuenta que la ropa limpia no puede mezclarse con la ropa sucia, los vehículos tienen una capacidad máxima de transporte, los horarios de trabajo de los empleados y las demandas de cada una de las unidades¹⁷.

La gestión de inventarios en hospitales, también se ha considerado un punto relevante para la investigación de operaciones, debido a la complejidad del sistema, características especiales de la industria de la salud y la necesidad de reducir costos para enfocar los recursos y los esfuerzos en la atención de los pacientes. Además, se considera que el sistema de gestión de medicamentos es complejo, ya que los costos de las unidades faltantes no son cuantificables, es decir, no tener inventario disponible cuando un paciente requiere un medicamento puede implicar la muerte de éste, acciones legales costosas, desprestigio de la imagen del centro médico, entre otras¹⁸.

De acuerdo a lo mencionado, existe una gran gama de problemas en las instituciones hospitalarias que pueden ser resueltos a través de la ingeniería industrial, en donde siempre se busca mejorar la eficiencia de estos centros hospitalarios. Por ello, consideramos que al implementar diferentes conocimientos proporcionados por la ingeniería industrial, se puede abordar correctamente algunos de los problemas de los bancos de sangre, como por ejemplo la asignación correcta del kit de bolsa a cada uno de los donantes, de acuerdo a las cantidades disponibles en inventario y la demanda.

¹⁶ Ibid., p. 109.

¹⁷ Ibid., p. 111.

¹⁸ Ibid., p. 111-112.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Contribuir al mejoramiento de un banco de sangre de la ciudad de Cali.

2.2. OBJETIVO DEL PROYECTO

Desarrollar un modelo para la planeación de la producción de componentes sanguíneos de un banco de sangre.

2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.3.1. Analizar los procesos del banco de sangre y sus restricciones.

2.3.2. Diseñar un modelo para el abastecimiento de la demanda de componentes sanguíneos.

2.3.3. Validar el modelo.

2.3.4. Desarrollar un entregable definiendo cuáles serían los lineamientos para la implementación del modelo.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. ANTECEDENTES

La gestión de la sangre es un problema de interés específico de la raza humana. A pesar de los desarrollos tecnológicos para encontrar sustitutos de los componentes sanguíneos, la necesidad de donantes de sangre y de productos sanguíneos siempre existirá¹⁹.

El problema de la administración de toda la cadena de suministro de la sangre, se encuentra en que ésta no es una mercancía ordinaria, el abastecimiento de sangre de un donante es irregular, la demanda de productos sanguíneos es estocástica, los componentes de la sangre son productos perecederos, la escasez produce un alto costo para la sociedad, ya que puede aumentar las tasas de mortalidad y los productos caducados no son comúnmente aceptados, los donantes de sangre son un bien escaso y éstos deben respetar cierto tiempo entre una donación y otra. Además, sólo un pequeño porcentaje (5%) de la población de posibles donantes realmente dona²⁰.

Dentro de la revisión hecha por Jeroen Beliën y Hein Forcé, se encontró que los métodos para abordar el problema de la sangre han sido variados. Un gran número de documentos han utilizado simulación, que incluye tanto eventos discretos como simulación Montecarlo, otros han utilizado métodos como análisis estadístico (regresión lineal, análisis de supervivencia, ANOVA, etc.), investigación de operaciones (programación entera, programación lineal y programación dinámica estocástica), teoría de colas (en su mayoría cadenas de Markov), entre otros²¹.

La simulación es uno de los métodos más utilizados y esto refleja la complejidad del problema, ya que a menudo este método se utiliza cuando es difícil encontrar una política óptima. La simulación es popular, debido a que no sufre de los principales problemas computacionales y permite resultados detallados. La principal desventaja del método es que no proporciona ninguna garantía de una solución óptima. Además, los resultados son altamente dependientes de la

¹⁹ BELIËN, Jeroen y FORCÉ Hein. Op.cit. p. 1.

²⁰ BELIËN, Jeroen y FORCÉ Hein. Op.cit. p. 1.

²¹ BELIËN, Jeroen y FORCÉ Hein. Op.cit. p. 4

situación particular del caso de estudio y de los supuestos que se hayan asumido para simplificar la situación, por ello es difícil generalizar los resultados²².

En la literatura también se puede encontrar tres enfoques de acuerdo al nivel jerárquico. El primero de ellos es el de un banco de sangre hospitalario, es decir, uno que está adscrito a un hospital, como lo es el caso que se estudia en este proyecto de grado. El segundo es un banco de sangre regional, que abastece a diferentes hospitales de componentes sanguíneos. Por último, algunas publicaciones se enfocan en mejorar la cadena de suministro en su totalidad²³.

Para el primer nivel los estudios han estado centrados en investigar los factores que afectan las tasas de escasez y de caducidad, además de políticas que proporcionen un mejor control del nivel del inventario. Los centros de sangre regionales a diferencia de los bancos de sangre hospitalarios tienen una preocupación relacionada con las políticas de distribución entre hospitales, para lo cual Denesiuk *et al.*, habla sobre un sistema en el que las unidades que están cerca de caducar sean llevadas a otro hospital de más alto uso, en donde tendrán una mayor probabilidad de ser utilizadas antes de su fecha de expiración²⁴. Finalmente, en las publicaciones relacionadas con la cadena de abastecimiento se habla de aspectos tácticos y operativos, como localización, producción de varios ítems, configuración y control del inventario, asignación de la sangre a los hospitales, entrega a múltiples lugares, políticas de emisión, entre otros²⁵.

3.1.1. Planeación de la recolección. Conocer la demanda de sangre y de los componentes sanguíneos, es el principal objetivo de un banco de sangre y esto se puede lograr a través de los donantes voluntarios, la administración eficaz del suministro de sangre y el uso apropiado de ésta. Además, para tener una administración eficaz del suministro de sangre es necesario conocer la interacción que hay entre la oferta y la demanda de sangre, los niveles de inventario, logística, entre otras²⁶.

La función de los bancos de sangre puede variar de una institución a otra, ya que existen bancos que obtienen la sangre por sus propios medios, pero hay otros que

²² BELIËN, Jeroen y FORCÉ Hein. Op.cit. p. 4

²³ BELIËN, Jeroen y FORCÉ Hein. Op.cit. p. 8.

²⁴ BELIËN, Jeroen y FORCÉ Hein. Op.cit. p. 8.

²⁵ BELIËN, Jeroen y FORCÉ Hein. Op.cit. p. 9.

²⁶ CHAPMAN, JF., et al. Recommendation for effective blood supply management. En: Vox Sanguinis. Noviembre, 2007. v. 93, p. 385-394.

lo hacen a través de terceros y sirven como depósitos para abastecer a sus pacientes²⁷.

La cantidad de sangre recolectada en una donación varía con el tiempo y el lugar donde se lleva a cabo. Por lo tanto, es común que todos los bancos de sangre recolecten la sangre de todos los donantes de estos lugares con el propósito de minimizar la escasez, pero se debe tener en cuenta que estos bancos pueden incurrir en niveles de desperdicio cuando los niveles de recolección son muy altos. Sin embargo, los bancos de sangre pueden decidir no aceptar la sangre de los donantes que llegan a esos lugares una vez que se haya alcanzado la cantidad máxima que se debía recolectar o pueden recibir a todos los donantes y las unidades de sangre en exceso las ofrecen a los otros bancos que las necesiten²⁸.

En un estudio realizado por Harshal Lowalekar y N. Ravichandran, se asume que las campañas son organizadas después de cada T días. Además, definieron dos nuevas políticas de nivel de corte para la recolección de la sangre, el modelo $[Q, T]$ y el modelo $[R, T]$, en el que una vez que se haya alcanzado el nivel de corte durante la campaña, la recolección se detiene o se continúa y las unidades excedentes se regalan a otro banco de sangre²⁹. Las políticas de recolección de la sangre se muestran en la Tabla 1.

El problema de la recolección es definido como la determinación del valor óptimo de la frecuencia ($f^* = 1/T^*$) y los niveles de corte (Q^* y R^*) para las políticas³⁰.

En las ilustraciones 2 y 3 se representan la variación del costo total con respecto al nivel de corte para cada uno de los modelos. El costo total incluye los costos de recolectar, procesar, mantener y los costos de escasez y desperdicios. En las gráficas se puede observar que a medida que aumenta el nivel de corte (Q o R) el costo total disminuye hasta cierto punto y luego se incrementa. Este descenso en los costos generado en las etapas iniciales se debe a la reducción de la escasez ocasionada por presentarse un incremento en la recolección, es decir, un mayor nivel de corte, teniendo en cuenta que no hay un aumento considerable en los desperdicios. Por otro lado, el aumento en los costos totales se debe a que a

²⁷ RAPPOPORT, Arthur E. Planning your blood bank? En: Transfusion. Marzo - Abril, 1961. vol. 1, p. 133-137.

²⁸ LOWALEKAR, Harshal y RAVICHANDRAN N. Model for blood collections management. En: Transfusion. Diciembre, 2010. vol. 50, p. 2778-2784.

²⁹ Ibid., p. 2778.

³⁰ Ibid., p. 2778.

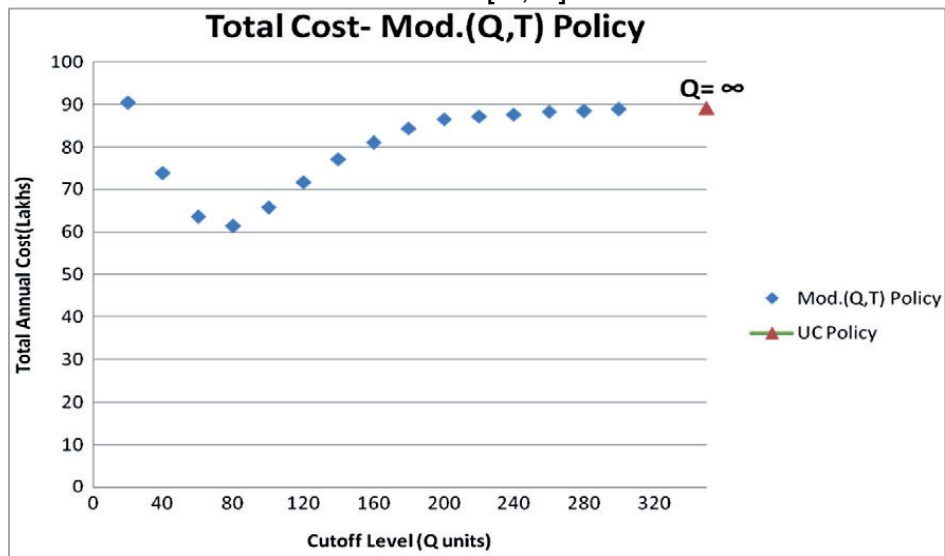
medida que se incrementa el nivel de corte se aumentan los desperdicios sin una disminución considerable en la escasez³¹.

Tabla 1. Políticas para la recolección de sangre en los campos de donación

Número	Política de recolección	Intervalo entre dos campañas sucesivos	Cantidad que se debe recoger en una campaña
1	Recolección sin restricciones (UC)	T días	Recolectar la sangre de todos los donantes.
2	Modelo [Q, T]	T días	Recolectar una cantidad fija de sangre (Q).
3	Modelo [R, T]	T días	Recolectar la diferencia entre un nivel de inventario objetivo (R) y el nivel de stock que haya antes de la campaña.

Fuente: LOWALEKAR, Harshal y RAVICHANDRAN N. Model for blood collections management. En: Transfusion. Diciembre, 2010. vol. 50, p. 2778-2784. Traducción: Las autoras.

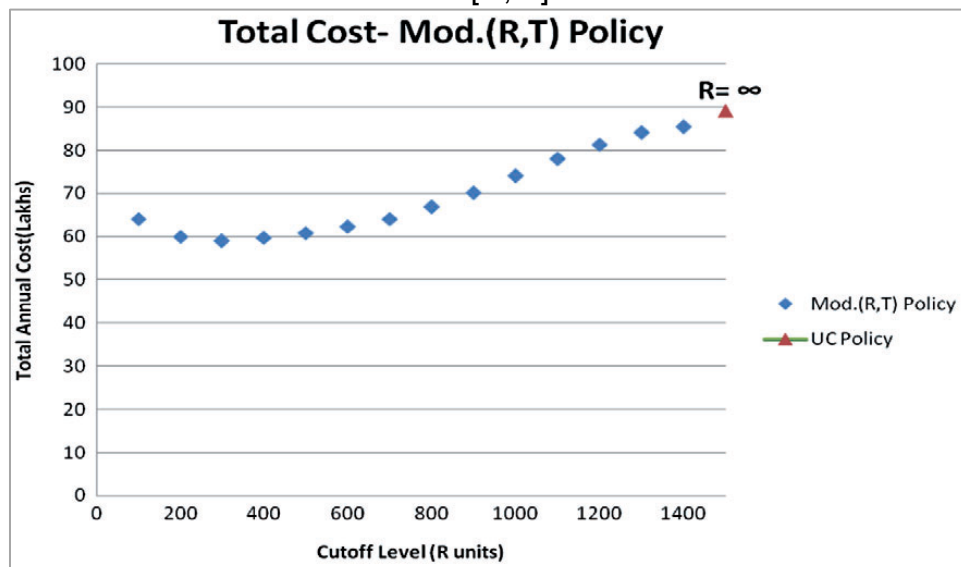
Ilustración 2. Costo total Modelo [Q, T]



Fuente: LOWALEKAR, Harshal y RAVICHANDRAN N. Model for blood collections management. En: Transfusion. Diciembre, 2010. vol. 50, p. 2778-2784.

³¹ Ibid., p. 2782.

Ilustración 3. Costo total Modelo [R, T]



Fuente: LOWALEKAR, Harshal y RAVICHANDRAN N. Model for blood collections management. En: Transfusion. Diciembre, 2010. vol. 50, p. 2778-2784.

Las políticas de nivel de corte pueden ayudar a los bancos de sangre a tener un mejor desempeño en el control de los costos totales. Estas mejoras son del orden del 5 al 30%, dependiendo de los costos de escasez y desperdicios de los productos sanguíneos³². Además, se encontró que el peor escenario es una política de recolección sin restricciones y que el nivel óptimo de corte aumenta a medida que el nivel promedio de suministro disminuye o cuando hay una variación en el incremento de la oferta³³.

Con este artículo se pudo demostrar que la política de recolección de toda la sangre disponible puede ocasionar altos desperdicios y no reducir significativamente la escasez. Por lo tanto, detener el suministro en un determinado nivel es considerado una buena idea. Sin embargo, las unidades en exceso se pueden dar a un banco de sangre que en verdad las necesite, ya que con esto no sólo se reducirán los desperdicios de un banco de sangre (debido a la sobre-recolección), sino que también se puede reducir la escasez de otro banco de sangre (ocasionada por la baja recolección). Utilizando el modelo de recolección de la sangre, se dedujo que al cortar el suministro en un determinado nivel, el banco de sangre podrá reducir los desperdicios sin tener un aumento significativo en la escasez, pero también se pueden establecer diferentes niveles

³² Ibid., p. 2782.

³³ Ibid., p. 2783.

de corte para cada mes, dependiendo de los donantes disponibles en un mes determinado³⁴.

En el sistema de planeación de la recolección se incluye lo siguiente: objetivos para las recolecciones diarias, un sistema de pronóstico para predecir la cantidad proveniente de diferentes fuentes, un algoritmo de programación para organizar visitas a las organizaciones con el propósito de lograr los objetivos deseados y finalmente se incluye una sistema de información con una amplia base de datos³⁵.

El problema para establecer los objetivos para la recolección puede ser formulado como una versión más compleja del problema de determinación de las políticas óptimas de pedido para un banco de sangre de un hospital: determinar el tamaño óptimo y el total de unidades recolectadas para minimizar el costo total del inventario regional de los n-periodos³⁶, puede ser descrita de la siguiente forma:

$$C_n(x, X) = \sum_{i=1}^8 C_{n,i}(y_i, X) \cdot p(y_i/y)$$

Donde,

- X : inventario disponible actualmente.
- y_i : cantidad recolectada para el tipo de sangre i .
- $C_{n,i}(\cdot)$: costo regional esperado de los n-periodos para el tipo i .
- $p(y_i/y)$: probabilidad de tener y_i unidades de tipo i de un total de y unidades recogidas.

Puesto que la distribución de los tipos de donantes en la población es conocida, $p(y_i/y)$ es la función de probabilidad multinomial. Sin embargo, $C_{n,i}(y_i, X)$ es una función muy compleja y por lo tanto, tener una solución exacta para este problema es poco práctico³⁷. Para el problema anterior se planteó un simple pero efectivo enfoque heurístico con el fin de eliminar el elemento estocástico del problema. En este caso, la recolección diaria tiene que ser igual al uso diario más las unidades que caducan diariamente³⁸.

$$y = EU_i(1 + w)/p_i$$

³⁴ Ibid., p. 2784.

³⁵ PRASTACOS, Gregory P. Blood inventory management: A review of theory and practice. En: Revista Management Science. Julio, 1984, vol. 30, no.7. p. 777-800.

³⁶ Ibid., p. 791.

³⁷ Ibid., p. 791.

³⁸ Ibid., p. 791.

Donde,

- p_i : proporción de donantes de tipo i en la población.
- EU_i : uso esperado diario para el tipo i .
- w : tasa de caducidad deseada.

Frankfurter ha reportado modelos de pronósticos que han sido desarrollados por el Sistema Regional de Nueva York, Albany, utilizando técnicas de suavización exponencial³⁹.

3.1.2. Planeación de la demanda. El margen entre el abastecimiento de sangre y la demanda es cada vez más estrecho, lo que ha llevado a predecir que la demanda en un futuro cercano superará la oferta. Además, debido a los desequilibrios temporales y geográficos es posible que la escasez cada vez se haga más crítica. En este escenario de disminución de los inventarios de la sangre y disminución de la capacidad para hacer frente a los picos de alta demanda, el ajuste potencial del suministro de sangre frente a la demanda esperada es de suma importancia⁴⁰.

En cualquier negocio, las decisiones se deben tomar con base en la cantidad y los tipos de demanda que una empresa debe satisfacer para alcanzar el éxito. Lo mismo sucede en los bancos de sangre, en donde la demanda es la que maneja las decisiones⁴¹. Sin embargo, a pesar de que la recolección y transfusión de sangre son adecuadas para el análisis por medio de series de tiempo y pronósticos, hay una falta de publicaciones que investiguen sobre la aplicabilidad de estas herramientas estadísticas a los bancos de sangre y la medicina transfusional⁴².

Se dice que cuando una empresa tiene una demanda aleatoria y no realiza pronósticos racionales, es condenada a trabajar frecuentemente en crisis y con altos costos. Por ello, es necesario conocer la demanda en el pasado, presente y futuro. Además, los pronósticos sobre la cantidad y el tiempo de las demandas futuras, se convierten en los insumos para el control de los inventarios y el reclutamiento de donantes. Las decisiones sobre la cantidad de productos

³⁹ Ibid., p. 791.

⁴⁰ PEREIRA, Arturo. Performance of time-series methods in forecasting the demand for red blood cell transfusion. En: Transfusion. Mayo, 2004. vol 44, p. 739-736.

⁴¹ PIERSKALLA, William. Supply chain management of blood banks. En: Operations research and health care. Boston: Kluwer Academic Publisher, 2004. p. 103-145.

⁴² PEREIRA. Op.cit., p. 740.

sanguíneos para ser llevada a inventario, la programación de la extracción de los donantes en lista o de las donaciones móviles y los pedidos de los otros bancos de sangre, se deben hacer teniendo en cuenta los pronósticos⁴³.

Para pronosticar la demanda mensual e identificar los ciclos estacionales, es necesario recolectar datos de varios años. Además, en los casos en que los pronósticos para cada tipo de sangre sean necesarios, lo razonable sería identificar los niveles de demanda tomando como base los datos agregados y luego utilizar un estimador de la distribución de demanda para cada tipo de sangre como un medio para desagregar las estimaciones hechas en cada uno de los grupos sanguíneos específicos⁴⁴.

El propósito principal de los pronósticos es alertar a la administración del centro de sangre sobre el nivel de inventario de los suministros de sangre en el corto plazo con el fin de tomar acciones que permitan reducir o incrementar la recolección de sangre⁴⁵. También, es importante mencionar que los modelos de pronósticos no sólo han sido utilizados para predecir la cantidad de sangre que se debe recolectar, sino que también se han utilizado para pronosticar las transfusiones de sangre y la caducidad de ésta⁴⁶.

3.1.3. Inventarios perecederos. A lo largo de los años la buena gestión de inventarios ha sido considerada un símbolo de eficacia y sabiduría. En un principio se pensaba que éstos eran sinónimo de abundancia y riqueza, pero actualmente se ha llegado a la conclusión que almacenar existencias supone costos cada vez mayores relacionados con la obsolescencia y la oportunidad⁴⁷. Así en la modernidad se ha llegado al intento de eliminarlos en la denominada practica Just in Time (JIT), que ajusta la oferta a la demanda y a pesar de haber sido exitosamente aplicada en sectores comerciales e industriales, no se traduce bien a la administración de inventarios de sangre, debido un riesgo muy alto tras una escasez.

La sangre constituye un producto perecedero y para los problemas que se presentan en un banco de sangre, el modelaje analítico de los mismos y la

⁴³ PIERSKALLA. Op. cit., p. 122.

⁴⁴ PIERSKALLA. Op. cit., p. 123.

⁴⁵ FRANKFURTER, George M., KENDALL, Kenneth E. y PEGELS, C. Management control of blood through a short term supply – demand forecast system. En: Management Science. Diciembre, 1974. vol. 21, no. 4, p. 444-452.

⁴⁶ Ibid., p. 446.

⁴⁷ PARRA, Francisca. Conceptos básicos. En: Gestión de stocks. 3 ed. España: ESIC, 2005. p. 13-54.

subsecuente implementación para la eficiencia y efectividad de los sistemas de administración de inventario a lo largo de los años ha sido una tarea compleja. La dificultad se presenta principalmente por dos características de la sangre: 1. El envejecimiento y la caducidad de los componentes y 2. La diferencia entre la demanda y el uso (algunas unidades son reservadas para un proceso y si no son utilizadas son devueltas al inventario. Mientras permanecen en reserva se denominan “asignadas”). La primera característica tiene su razón de ser en que con el proceso de envejecimiento, las existencias deben ser identificadas por un vector de estado cuya dimensión es igual al tiempo de caducidad del producto, lo que ha creado serios problemas computacionales cuando se trata de obtener soluciones óptimas. La diferencia entre la demanda y el uso de la sangre complica más la situación, ya que esto es una característica única del ciclo de vida de la sangre y por lo tanto, no se pueden aplicar los modelos generales desarrollados para productos perecederos con el fin de obtener una solución exacta⁴⁸.

Además de los problemas mencionados arriba, se han encontrado otros: 1. El periodo de prueba cruzada, que normalmente oscila entre uno o dos días y puede ser significativamente largo dependiendo de las necesidades de información o estructura organizativa de un banco de sangre. 2. La edad de las unidades entrantes, que pueden tener uno o dos días, pero para un hospital u otro banco de sangre los componentes sanguíneos pueden tener una vida que oscila entre uno y su tiempo de vida. 3. La amplia variación entre las necesidades y prácticas (uso de componentes sanguíneos vs sangre total). El cambio desde la transfusión de sangre completa a componentes sanguíneos ha resultado en un mayor tiempo, inversión en la extracción y mantenimiento de la sangre⁴⁹. 4. Muchos productos tienen que ser controlados simultáneamente, ya que el problema involucra 8 tipos de sangre y muchos componentes, donde una unidad de un determinado tipo no puede ser abastecida por otros extraídos desde la misma población. Finalmente, la administración de este inventario se caracteriza por algunos aspectos de tipo médico, como por ejemplo, la disponibilidad de la sangre para los pacientes, la utilización de los recursos de sangre y la edad de la misma cuando es transfundida. Muchos de éstos entran en conflicto, como lo es la disponibilidad y la utilización de los recursos de sangre. También, algunos de ellos involucran costos que son difíciles de poner en unidades monetarias como la falta de una unidad cuando ésta es demanda, que podría involucrar complicaciones médicas para el paciente⁵⁰.

⁴⁸ PRASTACOS. Op. cit., p. 779.

⁴⁹ HESSE, Susan M, *et al.* A case study in platelet inventory management. [En línea]. 1996. [Citado 28-Mayo-2012]. Disponible en internet: <http://sitemaker.umich.edu/msdaskin/files/hessedaskinetalierc1997bloodbank.pdf>

⁵⁰ PRASTACOS. Op. cit., p. 779.

Muchas de las soluciones que se podrían implementar no tendrían un enfoque médico, cuyo criterio primordial es la seguridad y el cuidado del paciente. Esto ha representado todo un reto para la investigación de operaciones que ha hallado importantes resultados teóricos e implementaciones exitosas. Se ha establecido que la administración del inventario de sangre es un área muy fructífera para la investigación de operaciones⁵¹.

El equilibrio entre la escasez y la expiración generalmente difiere dependiendo del tipo de sangre, debido a que tipos raros de sangre tienen una menor tasa de uso, pero deben tener un inventario proporcionalmente mayor que el de los tipos comunes, lo que causa que a tasas iguales de escasez haya mayores tasas de expiración⁵².

Uno de los factores más importantes para el control de la tasa de caducidad es el tiempo que pasa entre la reserva de unidades que no son transfundidas y cuando éstas son devueltas al inventario no asignado (*Crossmatch Release Period*). Esto fue señalado por primera vez por Cohen y Pierskalla (1979) y a través de un experimento de simulación realizado en un hospital de Filadelfia se evidenció que hubo un aumento dramático cuando este periodo se incrementó de 1 a 2 y luego a 4 días⁵³.

Otro parámetro importante que afecta la tasa de caducidad es la edad de las unidades que llegan al inventario. La sangre colectada por un banco de sangre tendrá una edad de aproximadamente 1 día, pero la que reciben de otras fuentes podría ser de cualquier edad, desde 1 día hasta su fecha de expiración. El primero en demostrar la importancia que tenía este aspecto en la tasa de caducidad fue Jennings (1968)⁵⁴.

A lo largo de los años los investigadores han desarrollado dos enfoques importantes para ayudar a controlar el inventario de sangre, el primero plantea la automatización de todas las operaciones y el otro se centra en encontrar mejores políticas a través de modelos que históricamente han estado basados en la teoría de las cadenas absorbentes de Markov y de productos percederos y técnicas de simulación⁵⁵.

⁵¹ PRASTACOS. Op. cit., p. 780.

⁵² PRASTACOS. Op. cit., p. 788.

⁵³ PRASTACOS. Op. cit., p. 789.

⁵⁴ PRASTACOS. Op. cit., p. 789.

⁵⁵ PINSON, Suzanne, *et al.* A computer simulation analysis of blood bank inventory policies. [En línea]. 1974. [Citado 26-Mayo-2012]. Disponible en internet:

Por otro lado, Pierskella y Roach desarrollaron una política óptima para inventario de productos perecederos y la relacionaron con la sangre. Su objetivo era evaluar cuál de las estrategias FIFO o LIFO cumplía con tres objetivos: 1. Toda la demanda de glóbulos rojos fuera satisfecha. 2. La demanda perdida fuera minimizada. 3. Los artículos que perecen se redujeran al mínimo. Ellos llegaron a la conclusión que la política FIFO era la que cumplía de manera más satisfactoria con los objetivos⁵⁶.

Pierskella y Nahmias demostraron la existencia de políticas óptimas para ordenar productos perecederos, éstas se definen como una herramienta de gestión de decisiones muy importante porque intenta mantener cantidades suficientes en inventario con el fin de satisfacer la mayor parte de la demanda, sin tener un número excesivo de unidades caducadas⁵⁷.

Para el problema de los inventarios que eran asignados y luego devueltos al inventario disponible se ha desarrollado una política llamada Type and Screen (T&S). Este permite a los bancos de sangre atender las solicitudes de las reservas quirúrgicas sin, o con sólo un mínimo inventario asignado⁵⁸.

El modelo supone que se puede estimar con un margen de incertidumbre el número previsto de RBC (Red Blood Cells) que serán transfundidos cada día y que los envíos programados desde el centro de sangre están dirigidos a atender la demanda media esperada por día. Éste analiza 4 variables que tienen influencia en el desempeño del inventario de un banco de sangre: la media (MEAN) y el coeficiente de variación (CVAR) de las transfusiones diarias, el tiempo entre envíos consecutivos regulares del centro de sangre al hospital y el tiempo de vida de unidades enviadas desde el centro al banco de sangre, INT y RSL, respectivamente, por sus siglas en inglés. También se estudia la relación entre algunas de las anteriores variables con el *crossmatch release period*, ya descrito anteriormente y con *crossmatch to transfusion ratio*, que describe la probabilidad de que una unidad reservada sea efectivamente transfundida al paciente⁵⁹.

http://www.anderson.ucla.edu/faculty/william.pierskella/Chronological_Bank/Research_and_Publication_Chro.html

⁵⁶ CHAPMAN, J.F; HYAM C.;R. HICK. Blood inventory management. En: Vox Sanguinis. 2004. vol. 87. p. 143-145.

⁵⁷ PRASTACOS. Op.cit., p.779.

⁵⁸ PEREIRA, A. Blood inventory management in the type and screen era. En: Vox Sanguinis. 2005. no. 89, p. 245-250.

⁵⁹ Ibid., p. 246.

En este estudio se observó que tanto la tasa de caducidad (Outdate rate) como la tasa de escasez (Shortage rate) tienen un crecimiento exponencial cuando el *crossmatch release period* varía de 1 a 6 días o cuando el *transfusion to crossmatch ratio* decrece de 0,9 a 0,1. Resultados similares se obtuvieron con otros valores de la media, el coeficiente de variación, RSL y INT⁶⁰. Este resultado ya había sido expuesto por Cohen y Pierskalla⁶¹.

En este estudio también se concluyó que la media y el INT tenían un menor efecto sobre el desempeño del inventario siempre que el INT fuera más pequeño que el RSL⁶². Y que para el caso de inventarios no asignados la tasa de caducidad y la tasa de escasez crecen abruptamente cuando el RSL es menor que el INT⁶³. Adicionalmente, se concluyó que un coeficiente de variación diario requiere un inventario joven, con el fin de mantener las tasas de caducidad y escasez bajas, mientras que hospitales que tengan una menor tasa de variación podrán desempeñarse bien con unidades más viejas.

Uno de los corolarios más importantes de la política ya expuesta por Cohen y Pierskalla, que en este estudio se comprobó, es que el desempeño del inventario puede mejorarse aún más si el *transfusion to crossmatch ratio* se mantiene muy cerca de uno y si *crossmatch release period*, por el contrario muy cerca de cero, es decir, mediante la administración de reservas quirúrgicas sin inventarios asignados, aspecto que se puede lograr con el T&S⁶⁴.

Por otro lado, Abbot en 1977 utilizando simulación realizó uno de los grandes avances en la gestión del suministro de sangre. Este autor elaboró un modelo que tomaba en cuenta diversos tipos de sangre, los estudios anteriores sólo habían obtenido modelos de la sangre total o trataban cada tipo individualmente. Entonces, lo que Abbot añadió a su modelo fue la sustitución de tipos de sangre, lo que hizo que se redujera la tasa de escasez y se representara un modelo más realista de los procedimientos operativos de un hospital. Este autor también llegó a la conclusión que la sangre más vieja tenía una mayor probabilidad de ser usada en hospitales grandes⁶⁵.

⁶⁰ Ibid., p. 247.

⁶¹ Ibid., p. 249.

⁶² Ibid., p. 248.

⁶³ Ibid., p. 247.

⁶⁴ Ibid., p. 249.

⁶⁵ CANT, Lindsey. LIFE-SAVING DECISIONS: A Model for Optimal Blood Inventory Management. Trabajo de grado de Licenciatura de Ciencias en Ingeniería. Princeton. Princeton University. Departamento de Investigación de Operaciones e Ingeniería Financiera.

En años recientes, han sido pocos los estudios de parte de la investigación de operaciones o de las ciencias de la administración en el tema de la cadena de abastecimiento de sangre. Desde la década de los 80's hasta 2005 las investigaciones sobre este tema disminuyeron en forma significativa. En su lugar, la atención se centró en la seguridad del suministro de sangre y en el desarrollo de sistemas de información para facilitar las operaciones diarias⁶⁶.

3.2. MARCO TEÓRICO

3.2.1. Planeación de la demanda. Cuando se trata de una empresa productora de servicios, la Planeación y Control de la Producción (PCP) es la que se encarga de planear y controlar esos servicios, teniendo en cuenta la mano de obra necesaria, máquinas, equipos y otros recursos, con el fin de ofrecer los servicios a tiempo y así atender la demanda de los clientes y usuarios⁶⁷.

La PCP tiene como finalidad aumentar la eficiencia y la eficacia del proceso productivo de una compañía. Por ello, ésta actúa sobre los medios de producción para aumentar la eficiencia y cuida para que los objetivos de producción sean alcanzados. Por lo tanto, la PCP establece de manera anticipada todo lo que una empresa debe producir y posteriormente monitorea y controla el desempeño de la producción con respecto a lo planeado, corrigiendo los errores que puedan surgir⁶⁸.

Por otro lado, los pronósticos son los que hacen referencia a un método específico para predecir eventos futuros⁶⁹. Éstos se pueden utilizar en tres (3) horizontes temporales: corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, a medida que pasa el tiempo se realizan nuevamente los pronósticos corriendo el horizonte temporal, es decir, la fecha que fue pronosticada como un largo plazo, pasa a ser un mediano plazo y luego un corto plazo. Por lo tanto, a medida que se reduce el horizonte de planeación se cuenta con información más certera⁷⁰.

⁶⁶ Ibid., p. 27.

⁶⁷ CHIAVENATO, Idalberto. Planeación y control de la producción. En: Iniciación a la planeación y el control de la producción. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw Hill, 1999. p. 23-45.

⁶⁸ Ibid., p. 26.

⁶⁹ SIPPER, Daniel y BULFIN, Robert L. Pronósticos. En: Planeación y control de la producción. México: McGraw-Hill, 2004. p. 96-172.

⁷⁰ COHEN, Roger. Pronósticos. [En línea]. SF. [Citado 01-May-2012]. Disponible en internet: <http://materias.fi.uba.ar/7628/PronosticosTexto.pdf>.

Los pronósticos son considerados un elemento clave para cumplir los objetivos de una organización y mejorar su competitividad, ya que de no tomar las decisiones correctas, se puede prestar un deficiente servicio al cliente o tener exceso de inventario⁷¹.

Dado que cada producto tiene una demanda distinta, es importante conocer el comportamiento de cada una de las demandas y posteriormente seleccionar un método de pronóstico acorde a las características. Por ello, los métodos de pronósticos se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Métodos cualitativos.
- Métodos cuantitativos.

Los métodos cualitativos generalmente se usan cuando no se tiene una situación bien definida y se tienen pocos datos. Por lo tanto, en éstos prevalece la intuición, pero si se tiene una situación más estable y hay datos históricos, se suelen utilizar métodos cuantitativos⁷².

Para los métodos cuantitativos se tiene:

- Demanda perpetua, estable o uniforme:
 - Promedio móvil: este método promedia los datos más recientes con el propósito de reducir las fluctuaciones aleatorias y por ende, responder al cambio en el proceso de manera más rápida⁷³. Aquí las N observaciones más recientes tienen un peso igual (1/N), pero los datos más antiguos no reciben ningún peso⁷⁴.
 - Suavización exponencial simple: la diferencia entre este método y el promedio móvil, radica en que éste toma en cuenta todos los datos en la estimación a pesar de que tengan peso diferente.
- Demanda con tendencia creciente o decreciente:

⁷¹ VIDAL, Carlos Julio. Pronósticos de demanda. En: Fundamentos de control y gestión de inventarios. Cali: Universidad del Valle, 2009. p. 41-134.

⁷² COHEN. Op. cit., p.3.

⁷³ SIPPER. Op. cit., p. 126.

⁷⁴ SIPPER. Op. cit., p. 130.

- Suavización exponencial doble: este método considera la posible tendencia, creciente o decreciente, de la demanda⁷⁵. Además, si se utilizara suavización exponencial simple para pronosticar un proceso con tendencia, el pronóstico tendría una reacción retrasada al crecimiento y por ende, se podría subestimar la demanda real⁷⁶.
- Demanda estacional:
 - Suavización exponencial de Winters: este método es utilizado cuando se tiene una serie de tiempo con un componente estacional⁷⁷.

Es importante resaltar que en las series de tiempo se observan las variables en periodos de tiempo regulares. Además, los pronósticos generados por las series de tiempo utilizan datos históricos, es decir, se considera que los factores que han influido en el pasado lo seguirán haciendo en el futuro. Los métodos de series de tiempo son muy usados para realizar pronósticos a corto plazo⁷⁸.

3.2.2. Inventarios perecederos. Los inventarios se definen como una cantidad de bienes bajo el control de una empresa, guardados durante algún tiempo para satisfacer la demanda futura. Éste es un amortiguador entre dos procesos: el abastecimiento y la demanda. Una de las formas de evadir la incertidumbre es mantener más unidades de las pronosticadas en el inventario; esto evitará la posibilidad de quedarse sin producto si la demanda real excede al pronóstico o en caso de un paro en la producción. Estas existencias adicionales se llaman inventario de seguridad⁷⁹.

Existen productos que pueden almacenarse durante un tiempo considerable sin que se produzca daño por características propias del ítem, éstos son llamados productos no perecederos, mientras que otros poseen la propiedad de caducidad, que se define como el deterioro físico de las unidades de un producto y se diferencia de la obsolescencia porque cuando ésta sucede la demanda para

⁷⁵ VIDAL. Op. cit., p. 89.

⁷⁶ SIPPER. Op. cit., p. 132.

⁷⁷ Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. [En línea]. SF. [Citado 28-May-2012]. Disponible en internet: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4030006/lecciones/capitulocinco/5_2_5.html

⁷⁸ SIPPER. Op. cit., p. 122.

⁷⁹ SIPPER, Daniel y BULFIN, Robert L. Inventarios: sistemas de demanda independiente. En: Planeación y control de la producción. México: McGraw-Hill, 2004. p. 218-333.

dichos ítems, que son llamados artículos de moda, es insignificante, mientras que cuando se da la caducidad la demanda de los productos continúa⁸⁰.

Para los productos perecederos existen dos categorías: los altamente perecederos y los productos con fecha de caducidad marcada. Los primeros se definen como aquellos que sólo pueden ser aprovisionados una vez durante un periodo de tiempo analizado, así que la política de compras o de producción depende de la demanda pronosticada, de tal forma que se logre un equilibrio entre la probabilidad de tener que soportar costos por un exceso de inventario o por no abastecer la demanda en caso de existencias insuficientes⁸¹. Por el contrario, los segundos, son aquellos de los cuales una organización puede abastecerse más de una vez durante su vida útil y utilizando una estrategia FIFO (primero en expirar, primero en salir, por sus siglas en inglés) se puede lograr una cobertura y seguridad alta de que los productos no caducarán⁸². Los modelos existentes asumen que todas las unidades que aún permanecen en inventario son igualmente útiles⁸³.

Los inventarios de sangre corresponden a la segunda descripción debido a que su fecha de caducidad se conoce con anterioridad para cada uno de sus componentes y los bancos de sangre están realizando continuamente campañas de donación en diversos sitios, a nivel intramural (pasillos de la entidad) y extramural (universidades, empresas, barrios, instituciones, parques, supermercados e iglesias), lo que les permite abastecerse más de una vez a la semana.

En su libro *Perishable Inventory System*, Nahmias explica que, si se supone una demanda constante cuya tasa está representada por la letra griega λ , un costo fijo de ordenar de K y un costo de mantener una unidad en el inventario de h , se conoce que la orden óptima está dada por⁸⁴:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2K\lambda}{h}}$$

⁸⁰ SILVER, Edward y PETERSON, Rein. Decision Rules for Style Goods and Perishable Items. En: Decision systems for inventory management and production planning. 2 ed. New York: John Wiley, 1985. p. 396-422.

⁸¹ PARRA. Op. cit., p. 184.

⁸² PARRA. Op. cit., p. 185.

⁸³ NAHMIAS, Steven. Perishable Inventory Theory: A review. California. The University of Santa Clara. 1982, p. 680-708.

⁸⁴ NAHMIAS, Steven. Preliminaries. En: Perishable Inventory Systems. New York: Springer. 2011. p.1-6

El tiempo óptimo para colocar las órdenes es $T^* = Q^*/\lambda$, pero si se supone que el ítem tiene un tiempo de vida m y que todas las entregas son de productos frescos, se tienen dos situaciones⁸⁵:

1. $T^* \leq m$
2. $T^* > m$

Para el primer caso la política de ordenar sigue siendo la misma, debido a que cuando ésta toma lugar las unidades han sido consumidas por la demanda antes de que expiren, pero para el segundo caso cuando se da la orden, aún hay inventario *on hand* positivo y esto causará la expiración y descarte de algunas unidades. Para este último caso, si se reduce la cantidad de la orden de $Q^* = \lambda T^*$ a $Q = \lambda m < Q^*$, entonces la longitud del ciclo será m , con ello, teóricamente no se producirá la caducidad de las unidades y se reducirá el costo de mantener el inventario y el promedio de éste también decrecerá desde $Q^*/2$ a $Q/2$ ⁸⁶.

Silver define algunas propiedades de la solución óptima que se enuncian a continuación:

1. La propiedad de caducidad reduce el tamaño de la mejor cantidad a ordenar en comparación con los productos no perecederos y la diferencia es mayor para niveles iniciales de inventario bajos.
2. Si el nivel inicial de inventario de una edad específica incrementa en una unidad, la mejor cantidad a ordenar disminuye, pero en menos de una unidad. Además, la cantidad a ordenar es más sensible a los cambios de inventario fresco⁸⁷.

El banco de sangre adscrito a la IPS de la que trata este proyecto de grado actúa como una locación de inventario, almacenando y usando las unidades de sangre para satisfacer los requerimientos de demanda. Durante el día este recibe un número aleatorio de requerimientos de transfusión de determinado componente sanguíneo, tipo de sangre y Rh. Una vez el requerimiento es recibido las unidades son removidas del inventario y después de pruebas, los componentes son puestos en reserva para un paciente determinado. Las unidades que no son transfundidas son retornadas al inventario y el tiempo entre la operación y el retorno de las unidades no usadas es llamado *crossmatch release period*⁸⁸.

⁸⁵ Ibid., p. 1.

⁸⁶ Ibid., p.1.

⁸⁷ SILVER. Op. cit., p. 415.

⁸⁸ PRASTACOS. Op. cit., p. 778.

3.3. APOORTE INTELECTUAL

Para un banco de sangre es importante tener una buena estimación de la demanda para hacer una mejor aproximación de la cantidad de donantes que deben conseguir y no incurrir en una sobrerrecolección que les signifique mayores costos en insumos, procesamiento e inventarios, o en el caso contrario, quedar desabastecidos y tener que recurrir a otras entidades, corriendo el riesgo de no encontrar los componentes requeridos y así poner en peligro la vida de los pacientes.

Los bancos de sangre deben estructurar la forma en que se llevará a cabo la recolección de acuerdo a su situación particular, con el fin de tener un mejor control de sus costos y uso de los recursos, como por ejemplo, los donantes que a través de los años han sido catalogados como escasos y que deben esperar un tiempo para volver a donar. Esto afecta la planeación que se debe realizar, debido a que si hay una sobrerrecolección, hay una alta probabilidad que los componentes caduquen y las personas que en una ocasión donaron, ya no lo puedan hacer en una situación que realmente se necesite si no han cumplido el tiempo reglamentario.

El primer paso para la planeación de la producción son los pronósticos, que para los hemoderivados, según investigaciones, pueden desarrollarse a través de métodos de series de tiempo, tema que ya fue abordado en el proyecto de grado titulado “Propuesta de mejora en la logística hospitalaria del banco de sangre de una IPS de la ciudad de Cali”. En éste se elaboró una herramienta que permite conocer el tipo de pronóstico que debe utilizarse para cada uno de los componentes y de acuerdo a ello se planteó todo lo relacionado con el control de inventarios (política de inventario, punto de reorden, nivel de servicio, cantidad a producir, inventario de seguridad).

Actualmente, la tendencia es hacia la eliminación o reducción de los inventarios, que ha cobrado una mayor importancia con el surgimiento del JIT, que ha sido aplicada exitosamente en industrias, pero para los bancos de sangre ésta no representa una opción, debido a un riesgo muy alto tras la escasez. Esto no significa que estas instituciones deban tener un inventario excesivo, sino que se debe hacer un buen control de éste, con el fin de minimizar los costos.

En un principio se transfundía sangre total, pero con el paso de tiempo se empezó a separar la sangre en cada uno de sus componentes y sólo se transfunde de acuerdo a las necesidades del paciente, haciendo un mejor aprovechamiento de

los recursos, pero esto llevó a que la administración de los inventarios fuera más compleja debido a que habían más productos.

En el tema de inventarios, lo primero que debe tenerse en cuenta es que la sangre es un producto perecedero, pero por la característica de reserva (tiempo que pasa en un inventario asignado a un paciente, pero puede volver al inventario disponible al no ser utilizada), no se pueden aplicar los resultados obtenidos en los productos perecederos, ya que esta característica sólo la tiene la sangre.

Alrededor de los inventarios de sangre, se han realizado muchas investigaciones, algunas de las cuales plantean soluciones matemáticas muy difíciles de llevar a cabo, lo que ha hecho que se haya migrado hacia soluciones más sencillas como por ejemplo, la simulación, pero los resultados que se obtienen con ésta no se pueden generalizar, ya que el modelo se elabora para un caso particular de estudio.

Una vez se tenga conocimiento de la demanda y de los inventarios en un periodo, el banco de sangre debe determinar la cantidad de cada tipo de bolsa que debe asignar, pero este tema aún no ha sido abordado. Por ello, este proyecto de grado se basa en un modelo matemático que permita tomar mejores decisiones sobre la asignación y la forma de procesar las bolsas en comparación con lo que se realiza actualmente. Con esto se pretende probar que al hacer una mejor asignación de los recursos se puede suplir la demanda con una menor cantidad de donantes.

4. METODOLOGÍA

Tabla 2. Estrategia metodológica

N°	Etapas del proyecto	Actividades críticas	Recursos
1	Estudiar el proceso de producción de componentes sanguíneos del banco de sangre.	Visitas de campo, validación del proceso de producción de componentes sanguíneos, conocimiento de los costos del proceso (MOD, MP, CIF) y precios de compra de componentes sanguíneos, establecimiento de restricciones.	Observaciones, entrevistas, consultas, diagrama de flujo.
2	Analizar los criterios utilizados para determinar el número de donantes (Unidad Móvil, pasillo y Sede).	Visitas de campo, conocer el direccionamiento estratégico del banco de sangre.	Entrevistas, conocer misión, visión, objetivos.
3	Elaborar un modelo para el abastecimiento de la demanda de sangre.	Planteamiento matemático del modelo (conjuntos, parámetros, variables, restricciones).	Lluvia de ideas, Software de Optimización.
4	Ejecución del modelo.	Aplicar datos reales al modelo propuesto, ajustes, comparación en términos monetarios de la situación actual vs la solución arrojada por el modelo.	Software de optimización.

Tabla 2. (Continuación).

N°	Etapas del proyecto	Actividades críticas	Recursos
5	Elaborar una guía para la implementación del modelo.	Desarrollo de la guía para implementar el modelo, presentación de la guía y ajustes.	Microsoft Word.

Fuente: Las autoras.

5. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

5.1. RECURSOS

a. Financiera: no hay recursos externos, todos serán suministrados por las investigadoras.

b. Equipos:

- Computadores: se necesitan 2 computadores con acceso a internet, para la documentación del proyecto.
- Cámara digital: se necesita 1 cámara para tomar fotografías y grabar las entrevistas al personal del banco de sangre.
- Grabadoras de voz: grabación de entrevistas del personal del banco de sangre que no puedan ser filmadas.

c. Humanos:

- Las investigadoras.
- Tutor temático.
- Tutor metodológico.
- Equipo de mejoramiento y estandarización.
- Equipo del banco de sangre.
- Profesores de la universidad ICESI.

5.2. MATRIZ DE MARCO LÓGICO

Tabla 3. Matriz de Marco Lógico

	Resumen	Indicadores	Medios de Verificación	Supuestos
Objetivo General	Contribuir al mejoramiento de un banco de sangre de la ciudad de Cali.			
Objetivo del Proyecto	Desarrollar un modelo para la planeación de la producción de componentes sanguíneos de un banco de sangre.	Porcentaje de cumplimiento = $\frac{\text{Objetivos específicos cumplidos}}{\text{Total de Objetivos específicos}}$		
Objetivo específico 1	Analizar los procesos del banco de sangre y sus restricciones.			
Actividades	Validación del proceso de producción de hemoderivados	Binario: 1 cumplido, 0 no cumplido	Documentos entregados	Habrà personal disponible y capacitado para suministrar la información.
	Costeo de los procesos de producción de hemoderivados	Binario: 1 cumplido, 0 no cumplido	Documentos entregados	

Tabla 3. (Continuación).

	Resumen	Indicadores	Medios de Verificación	Supuestos
Actividades	Establecimiento de restricciones	Binario: 1 cumplido, 0 no cumplido	Documentos entregados	
	Conocer los aspectos claves del direccionamiento estratégico del banco de sangre	Binario: 1 cumplido, 0 no cumplido	Visitas realizadas	El banco de sangre tiene claramente definido su direccionamiento estratégico
Objetivo específico 2	Diseñar un modelo para el abastecimiento de la demanda de componentes sanguíneos.			
Actividades	Planteamiento matemático del modelo (Conjuntos, Parámetros, Variables, Restricciones).	Resultados obtenidos / Resultados esperados	Documentos entregados	El Banco de Sangre proveerá la información necesaria para ejecutar el modelo.
	Ejecutar el modelo en el software de optimización	Binario: 1 cumplido, 0 no cumplido	Documentos entregados	

Tabla 3. (Continuación).

	Resumen	Indicadores	Medios de Verificación	Supuestos
Objetivo específico 3	Validar el modelo			
Actividades	Aplicar datos reales al modelo propuesto	Binario: 1 cumplido, 0 no cumplido	Verificación directa	
	Ajustes al modelo	Binario: 1 cumplido, 0 no cumplido	Verificación directa	
	Comparación en términos monetarios de la situación actual vs la solución arrojada por el modelo.	Binario: 1 cumplido, 0 no cumplido	Documentos entregados	

Fuente: Las autoras.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1. Analizar los procesos del banco de sangre y sus restricciones

6.1.1 Diagramas de flujo para la validación del proceso de producción

La validación del proceso de producción de componentes sanguíneos se llevó a cabo a través de visitas de campo a las áreas de: campaña, donación por aféresis, separación de componentes, hemoclasificación, pruebas infecciosas, pruebas cruzadas y despachos. En ellas se contó con la colaboración de bacteriólogas y auxiliares en la construcción de diagramas de flujo que finalmente fueron validados y aprobados por la primeras, al ser las dueñas del proceso.

La primer área que visitamos fue la de campaña en pasillo, allí vimos que la decisión del kit de bolsa que se debía poner al donante al momento de la flebotomía estaba condicionada por varios factores. El primero de ellos, radica en si una mujer ha estado en embarazo o ha tenido hijos, en este caso la bacterióloga inmediatamente decide ponerle una bolsa triple, justificando que no puede ponerle una cuádruple debido a que no se puede utilizar el plasma. Como segundo punto, se observó que cuando el donante ha tomado aspirina, la bacterióloga decide utilizar la misma bolsa que en el caso anterior argumentando que una bolsa cuádruple es inconveniente debido a que las plaquetas no serían aptas, pero ella no tiene claro porque no utilizar una bolsa cuádruple para extraer crioprecipitado. Más adelante, la coordinadora del banco de sangre aclaró que la aspirina no afectaba los factores de coagulación que son los que se buscan mantener intactos en el momento de producir crioprecipitado. Por último, las bolsas dobles son utilizadas cuando el hematocrito de un donante es alto, con el fin de que los glóbulos rojos extraídos de estas bolsas sean transfundidos a bebés.

Cuando en el área de campañas se ha recolectado la sangre total, ésta se puede almacenar provisionalmente en dos tipos de neveras (nevera convencional y nevera compocool) mientras se lleva la unidad al banco de sangre para empezar el proceso de separación de componentes. Sin embargo, es importante que el personal del área de campañas haga un buen control del tiempo que permanecen las unidades en las neveras mencionadas, ya que cuando se utiliza la convencional y se desea extraer plasma, el tiempo máximo que puede permanecer la sangre en esta nevera es de 6 horas. Cuando se utiliza la nevera compocool y se quiere obtener glóbulos rojos, plasma o plaquetas, el tiempo máximo que puede permanecer la sangre en ésta es de 22 horas.

En el área de campaña se comentó que ellos utilizaban más bolsas triples cuando las campañas se realizaban a más de 1 hora de Cali, debido a que si se utilizan neveras convencionales después de 6 horas de la flebotomía no se puede extraer plasma y por lo tanto crioprecipitado y utilizar una bolsa cuádruple para extraer plaquetas representaría una pérdida monetaria, ya que no se estaría extrayendo el plasma que es otro de los componentes que se espera obtener por este procedimiento.

En lo que respecta al área de plaquetáferesis, se observa que hay diferentes procedimientos que se pueden realizar: plaquetáferesis, donación autóloga, donación de sangre total, flebotomía terapéutica y reserva de componentes. Sin embargo, la mayor parte del recurso humano lo consume la donación de plaquetas por aféresis y en lo que respecta a la donación de sangre total en la sede, no hay ninguna diferencia con la que se realiza en campaña. Por último, la única diferencia que hay entre la donación autóloga y de sangre total, es que a las bolsas de la primera se les pega un sticker naranja que dice “DONACIÓN AUTOLOGA”.

En los procedimientos realizados para obtener los diferentes componentes sanguíneos, se describe la secuencia que se lleva a cabo para realizar la hemoclasificación y las pruebas infecciosas. En cuanto a la separación de componentes, se debe aclarar que las bolsas dobles se utilizan con el fin de extraer glóbulos rojos para neonatos, debido a su alta concentración de hematocrito. Sin embargo, una vez que estas bolsas ya han sido procesadas, se confirma que el porcentaje de hematocrito sea mayor al 70%, de lo contrario se cambia el receptor al que se le iban a transfundir los glóbulos rojos producidos. Es importante resaltar que los hematíes destinados para bebés tienen un procedimiento adicional que aquellos que son dirigidos para los adultos, ya que para el caso de los primeros, éstos deben ser filtrados y posteriormente irradiados, mientras que en los adultos, éstos sólo se filtran e irradian cuando el médico tratante de la orden. Además, se debe tener en cuenta que las plaquetas producidas de manera manual, que son exclusivamente para neonatos, y las obtenidas por aféresis siempre son filtradas e irradiadas. Una unidad de plaquetas por aféresis equivale a seis unidades de plaquetas manuales.

Al realizar la hemoclasificación a una unidad de sangre, también se lleva a cabo el rastreo de anticuerpos, en donde es importante resaltar que cuando se obtiene un resultado positivo en alguno de los anticuerpos, el plasma proveniente de una bolsa triple debe ser descartado. En cuanto a la bolsa cuádruple, no se puede disponer de las plaquetas si éstas ya han sido producidas o en el caso de que el plasma vaya a ser utilizado para producir crioprecipitado, éste se debe desechar. Por lo tanto, al obtener un resultado positivo en algún anticuerpo, los únicos

componentes sanguíneos que se pueden utilizar de la bolsa triple y cuádruple son los glóbulos rojos. En la bolsa doble, se presenta un comportamiento distinto, ya que cuando hay presencia de anticuerpos los glóbulos rojos deben ser descartados.

Por otro lado, cuando el plasma proviene de una bolsa cuádruple y va a ser utilizado para producir crioprecipitado, este último se debe preparar cuando ya se hayan realizado las pruebas infecciosas y no se obtenga un resultado reactivo en ninguna de las siete (7) pruebas que se realizan. Además, el plasma que sobra en la producción de crioprecipitado, es considerado plasma residual y por lo tanto se debe descartar, ya que no tiene factores de coagulación.

Si antes de llevar a cabo la separación de los componentes, la sangre total debe ser descartada por algún motivo, como por ejemplo mala sangría, coágulos, entre otros, de igual forma se deben realizar las pruebas infecciosas sin importar que no se vaya a obtener ningún componente.

A manera de resumen presentamos la Tabla 4, que enuncia los componentes sanguíneos que se pueden extraer de los diferentes kit de bolsa y las respectivas cantidades.

Tabla 4. Obtención de componentes sanguíneos a partir de los kit de bolsa

	Glóbulos Rojos Concentrados	Glóbulos Rojos No Concentrados	Plasma	Plaquetas Manuales	Plaquetas por Aféresis	Crioprecipitado
Proceso 1 (Kit doble)	1					
Proceso 2 (Kit triple)		1	1			
Proceso 3 (Kit cuádruple)		1	1	1		
Proceso 4 (Kit cuádruple)		1				1
Proceso 5 (ALYS)		2				
Proceso 6 (Kit de aféresis)					12	

Fuente: Las autoras.

Para las áreas de pruebas cruzadas y despachos se elaboró un flujograma que no se muestra en este documento por motivos de confidencialidad. En despachos siempre se encuentra un auxiliar mientras que en el área de pruebas cruzadas hay una bacterióloga quien al iniciar el turno debe descruzar las unidades que hayan cumplido 3 días en reserva, es decir, estas unidades se retiran de la nevera de reserva y se colocan donde están las unidades disponibles. La bacterióloga debe organizar en orden FIFO la nevera de reserva y el auxiliar debe realizar el mismo proceso a la nevera de unidades disponibles. En el caso de que las unidades reservadas sean para neonatos, éstas no se pasan a la nevera de disponibles hasta que el médico tratante de una orden expresa, sin importar que las unidades lleven más de 72 horas en reserva. Esto se debe a que para los bebés se utiliza sangre dedicada, en la cual una unidad de glóbulos rojos se fracciona en 3 bolsas que sirven para 3 transfusiones y con ello se evita la politransfusión. Este procedimiento es realizado por un auxiliar al llegar la orden a despachos. Además, la bacterióloga que se encuentra en el área de pruebas cruzadas debe descongelar diariamente 4 plasmas diarios para el paquete de código azul, los plasmas descongelados tienen una vida útil de 24 horas.

Es importante aclarar que al único componente que se le realiza prueba cruzada es a los glóbulos rojos. Respecto a los otros lo que se hace es reservar el

componente que según el Rh o grupo sanguíneo sea compatible con el paciente. Las posibles transfusiones de los diferentes componentes se muestran en las Tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5. Compatibilidad Glóbulos Rojos

		Receptor							
		O-	O+	A-	A+	B-	B+	AB-	AB+
Componente	O-	1	1	1	1	1	1	1	1
	O+		1		1		1		1
	A-			1	1			1	1
	A+				1				1
	B-					1	1	1	1
	B+						1		1
	AB-							1	1
	AB+								1

Fuente: Las autoras.

Tabla 6. Compatibilidad Crioprecipitado y Plasma (No requiere compatibilidad de Rh)

		Receptor (Paciente)			
Grupo sanguíneo		O	A	B	AB
Componente	O	1			
	A	1	1		
	B	1		1	
	AB	1	1	1	1

Fuente: Las autoras.

Tabla 7. Compatibilidad Plaqueta (No requiere compatibilidad de grupo sanguíneo)

		Receptor	
		Rh-	Rh+
Donante	Rh-	1	1
	Rh+		1

Fuente: Las autoras.

NOTA: Los flujogramas elaborados no se muestran en el desarrollo de este documento por motivos de confidencialidad. Si usted desea tener mayor información sobre los procesos mencionados anteriormente, por favor diríjase al Departamento de Ingeniería Industrial.

6.1.2 Restricciones encontradas

Las restricciones encontradas en el banco de sangre no se muestran en este documento por motivos de confidencialidad. Si usted desea tener mayor información sobre las restricciones por favor diríjase al Departamento de Ingeniería Industrial.

6.1.3 Plan estratégico o de largo plazo del banco de sangre

Por motivos de confidencialidad, el Plan estratégico del banco de sangre no se presenta en este documento. Si usted desea tener mayor información por favor diríjase al Departamento de Ingeniería Industrial.

6.2. Diseñar un modelo para el abastecimiento de la demanda de componentes sanguíneos

6.2.1 Análisis de Productos

A partir del conocimiento del proceso, determinamos que los productos del banco de sangre son 28, los cuales se encuentran enunciados en la Tabla 8, con sus respectivas abreviaturas entre paréntesis. Estas serán utilizadas durante el resto del proyecto para hacer referencia a cada uno de los componentes sanguíneos.

Tabla 8. Productos sanguíneos

Producto Sanguíneo	Abreviatura
Crioprecipitado A	CRIOA
Crioprecipitado AB	CRIO AB
Crioprecipitado B	CRIO B
Crioprecipitado O	CRIO O
Glóbulos Rojos Concentrados A+	GRC AP
Glóbulos Rojos Concentrados A-	GRC AN
Glóbulos Rojos Concentrados AB+	GRC ABP
Glóbulos Rojos Concentrados AB-	GRC ABN
Glóbulos Rojos Concentrados B+	GRC BP
Glóbulos Rojos Concentrados B-	GRC BN
Glóbulos Rojos Concentrados O+	GRC OP

Tabla 8. (Continuación).

Producto Sanguíneo	Abreviatura
Glóbulos Rojos Concentrados O-	GRC ON
Glóbulos Rojos No Concentrados A+	GRNC AP
Glóbulos Rojos No Concentrados A-	GRNC AN
Glóbulos Rojos No Concentrados AB+	GRNC ABP
Glóbulos Rojos No Concentrados AB-	GRNC ABN
Glóbulos Rojos No Concentrados B+	GRNC BP
Glóbulos Rojos No Concentrados B-	GRNC BN
Glóbulos Rojos No Concentrados O+	GRNC OP
Glóbulos Rojos No Concentrados O-	GRNC ON
Plasma A	PL A
Plasma AB	PL AB
Plasma B	PL B
Plasma O	PL O
Plaquetas por aféresis positivas	PQA P
Plaquetas por aféresis negativas	PQA N
Plaquetas manuales positivas	PQM P
Plaquetas manuales negativas	PQM N

Fuente: Las autoras.

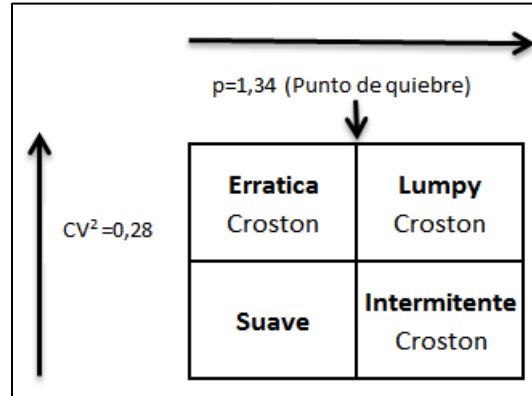
6.2.1 Clasificación de la demanda de los productos

Posteriormente, se obtuvieron los datos históricos de demanda de los años 2009 y 2010, que fueron separados en periodos de 5 días, debido a que los pronósticos de la demanda de los productos, que no estaban incluidos en el alcance del proyecto de grado, se establecen como entrada al modelo y se necesita considerar el menor ciclo de vida de los componentes sanguíneos, que para este caso es el de las plaquetas, con cinco (5) días de vida. Por motivos de confidencialidad, esta información no se muestra en este documento.

Es importante resaltar que la demanda se midió de acuerdo al grupo sanguíneo del paciente y su Rh, debido a que el mismo grupo sanguíneo y/o Rh, según corresponda se tomó como la primera opción para abastecer un requerimiento.

Para cada uno de los productos se siguió el procedimiento expuesto por Systetos y Boylan, quienes clasifican la demanda de acuerdo al siguiente gráfico.

Ilustración 4. Categorización de la demanda



Fuente: BOYLAN, John E; SYNTETOS, Aris A. Forecasting for Inventory Management of Service Parts. En: Service Parts Management: Demand forecasting and Inventory Control. p. 479-506. Traducción: Las autoras.

Donde CV^2 es el coeficiente de variación cuadrático de los tamaños de demanda, es decir, esta medida ignora los periodos de cero. El p es el promedio de los intervalos de demanda⁸⁹.

Se optó por esta clasificación debido a que como se puede observar en los gráficos de demanda de algunos de los componentes sanguíneos la demanda aparece en forma esporádica, lo que se define como demanda intermitente, la cual es difícil de predecir y los errores de predicción pueden ser costosos en términos de valores obsoletos o vencimiento y demanda insatisfecha, y que para el caso de la sangre puede resultar en la muerte de un paciente. Los métodos de suavización exponencial simple y promedio móvil han sido utilizados para pronosticar la demanda intermitente pero el método estándar para este tipo de demanda es el de Croston que es construido a través de estimaciones de dos elementos constitutivos:

- El tamaño de la demanda cuando ésta ocurre.
- El intervalo de demanda intermitente.

Para los dos elementos Croston utiliza una suavización exponencial, pero la constante de suavización es la misma para los dos.

⁸⁹ BOYLAN, John E; SYNTETOS, Aris A. Forecasting for Inventory Management of Service Parts. En: Service Parts Management: Demanda forecasting and Inventory Control. p. 479-506

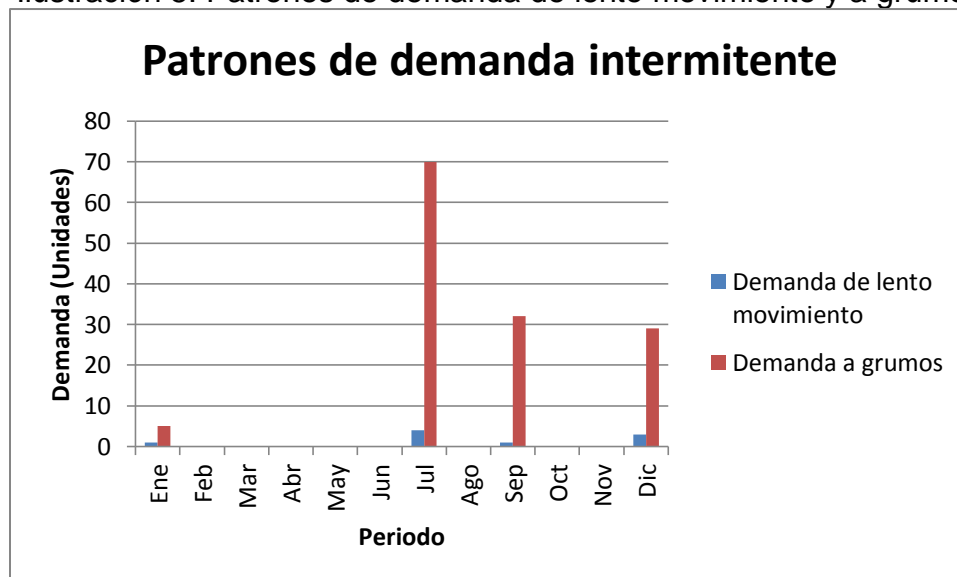
Syntetos y Boylan mostraron que el estimador de Croston es sesgado, entonces proponen un método en el cual se incorpora una aproximación del sesgo. En este se sigue utilizando la misma constante de suavización para la actualización de los tamaños de demanda e intervalos, aunque se resalta que podrían ser diferentes⁹⁰.

En la clasificación de demanda intermitente existen dos subcategorías:

- Slow Demand (De lento movimiento)
- Lumpy Demand (Demanda a grumos)

La primera corresponde a una demanda intermitente con poca variación en los tamaños de demanda. Esta es la que los autores Syntetos y Boylan llaman intermitente en la Ilustración 4. La segunda corresponde a una demanda intermitente y errática en los tamaños de la demanda cuando esta ocurre. Para ilustrar mejor la diferencia se muestra la Ilustración 5.

Ilustración 5. Patrones de demanda de lento movimiento y a grumos



Fuente: Las autoras.

Antes de realizar los pronósticos se decidió clasificar los productos como pronosticables o no pronosticables de acuerdo al porcentaje de periodos que presentaban demanda frente al total de periodos (146) (Tabla 9). Esta decisión fue

⁹⁰ SYNTETOS, Aris A; BOYLAN, John E. The accuracy of intermittent demand estimates. En: International Journal of Forecasting. 2005. vol. 21, p. 303-314.

tomada debido a que en varios de ellos la demanda era demasiado intermitente y en algunos el tamaño de la demanda presentada era de 1 o valores muy pequeños. La demanda de estos productos será cubierta a través de la definición de políticas de inventario, que se especificará en la sección 6.2.4.

Tabla 9. Decisión de componentes a pronosticar

COMPONENTE SANGUÍNEO	PORCENTAJE DE PERIODOS EN LOS QUE HAY DEMANDA	DECISIÓN
CRIO A	54%	Pronosticable
CRIO AB	3%	No Pronosticable
CRIO B	28%	Pronosticable
CRIO O	82%	Pronosticable
GRC AN	9%	No Pronosticable
GRC AP	82%	Pronosticable
GRC ABN	1%	No Pronosticable
GRC ABP	17%	No Pronosticable
GRC BN	1%	No Pronosticable
GRC BP	58%	Pronosticable
GRC ON	27%	Pronosticable
GRC OP	99%	Pronosticable
GRNC AN	57%	Pronosticable
GRNC AP	100%	Pronosticable
GRNC ABN	3%	No Pronosticable
GRNC ABP	55%	Pronosticable
GRNC BN	17%	No Pronosticable
GRNC BP	99%	Pronosticable
GRNC ON	88%	Pronosticable
GRNC OP	100%	Pronosticable
PLASMA A	97%	Pronosticable
PLASMA AB	14%	No Pronosticable
PLASMA B	66%	Pronosticable
PLASMA O	100%	Pronosticable
PQA N	17%	No Pronosticable
PQA P	94%	Pronosticable
PQM N	73%	Pronosticable
PQM P	92%	Pronosticable

Fuente: Las autoras.

Para cada uno de los productos que se clasificaron como pronosticables se siguió el siguiente procedimiento:

1. Clasificar la demanda de acuerdo a la Ilustración 4.
2. Comprobar atípicos:
 - 2.1. Para las demandas que son intermitentes (de lento movimiento) o lumpy, se separaron los datos en dos. El primer componente es tomar los tamaños de la demanda diferentes de cero y el segundo corresponde al intervalo de la demanda en el que hubo una demanda mayor a cero. A los dos se les hizo un gráfico de cajas y bigotes y se corrigieron atípicos.
 - 2.2 Para las demandas suaves, se realizará el gráfico de cajas y bigotes para todos los datos (esto no aplica cuando la demanda presenta un comportamiento creciente).
3. Con los datos corregidos, se procederá de la siguiente manera.
 - 3.1 Para demanda intermitente (de lento movimiento) o lumpy se probará el método de Croston tal como este autor lo expuso y con la modificación hecha por Syntetos y Boylan. El pronóstico se escogerá de acuerdo a aquel que arroje el menor error después de haber optimizado los parámetros a través de solver en un rango de 0,01 y 0,3.

Las ecuaciones para calcular los pronósticos de este tipo de demanda son:

x_t = Demanda observada en el periodo t .

y_t = Variable binaria igual a 1 si ocurre una demanda mayor que cero en el periodo t ; igual a cero de lo contrario.

$z_t = x_t * y_t$ Tamaño de la demanda

n_t = Número de periodos transcurridos desde la última demanda mayor que cero hasta el periodo t .

\hat{n}_t = Valor estimado de n al final del periodo t .

\hat{z}_t = Valor estimado de z al final del periodo t .

Con base en la anterior notación, al final de cada periodo se verifica si ocurrió una demanda positiva ($x_t > 0$), y de acuerdo a ello se actualizan los estimadores con la siguiente ecuación⁹¹:

$$\hat{n}_t = \alpha n_t + (1 - \alpha) \hat{n}_{t-1}$$

$$\hat{z}_t = \alpha x_t + (1 - \alpha) \hat{z}_{t-1}$$

⁹¹ VIDAL, Carlos Julio. Pronósticos de demanda. En: Planeación, optimización y administración de cadenas de abastecimiento. Santiago de Cali: Programa editorial: Universidad del Valle, 2009. p. 69-162.

Donde α es la constante de suavización.

Si la demanda es igual a cero, ni el estimado del tamaño de la demanda ni el estimador de n se actualizan, es decir, estos estimadores para el periodo t quedan iguales a los estimadores del periodo $t-1$. El valor de n_t si se actualiza en cada periodo, independiente si la demanda es positiva o no, debido a que esta variable cuenta el número de periodos desde la última demanda mayor que cero hasta el final del periodo actual, si no ocurre demanda, este contador aumenta su valor en 1, pero si hay demanda positiva el contador reinicia su valor en 1⁹².

El pronóstico del periodo t es calculado con la siguiente expresión:

$$\hat{x}_t = \frac{\hat{z}_t}{\hat{n}_t}$$

En la aproximación hecha por Syntentos y Boylan el único cambio que se introduce al método de Croston, se encuentra en la expresión utilizada para calcular el pronóstico. Por lo tanto, ésta queda de la siguiente manera:

$$\hat{x}_t = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{\hat{z}_t}{\hat{n}_t}$$

3.2 Para las demandas suaves se probará tendencia lineal. En caso de que ésta sea superior al 10%, se utilizará suavización exponencial doble para hallar los valores pronosticados. Las ecuaciones que se utilizaron para ello son las siguientes:

x_t = Valor real u observación de la demanda en el periodo t .

S_T = Constante que representa la componente constante de la demanda.

B_T = Constante que representa la componente de tendencia de la demanda.

Se puede utilizar suavización para actualizar la estimación de la tendencia y la componente constante de la demanda a través de las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} S_T &= \alpha d_t + (1 - \alpha)(S_{T-1} + B_{T-1}) \\ B_T &= \beta (S_T - S_{T-1}) + (1 - \beta)B_{T-1} \end{aligned}$$

La ecuación para el pronóstico esta determinada por:

⁹² Ibid., p. 132.

$$F_{T+k} = S_T + kB_T$$

Si la tendencia no es mayor al 10% se asumirá que la demanda sigue un comportamiento constante, y se evaluarán los métodos de suavización exponencial simple y promedio móvil. De estos se escogerá aquel que arroje el menor error habiendo optimizado los parámetros de cada uno de ellos.

A continuación se presentan la ecuación de suavización exponencial simple.

$$S_T = \alpha d_t + (1 - \alpha)(S_{T-1})$$

La siguiente ecuación es la del pronóstico:

$$F_{T+k} = S_T$$

Para todos los valores de k.

En el caso de promedio móvil, el periodo de simulación el F_{T+k} , se haya tomando el promedio de los N datos hacia atrás. Y el pronóstico está dado por:

$$F_{T+k} = M_T$$

Para todos los valores de k.

Donde M_T es el valor del último promedio móvil (último valor de S_T).

Para todos los productos se trabajó con un nivel de confianza del 95%, se optimizaron los parámetros entre 0,01 y 0,3, se evaluaron los indicadores de error MAD y MSD y se calculó la señal de rastreo con el objetivo de tener información acerca de posibles sesgos, desviaciones y problemas en el método de pronóstico que se está utilizando para cada producto. La señal de rastreo fue calculada de la siguiente forma:

$$\text{Señal de rastreo en el periodo } T = \frac{Q(T)}{MAD(T)}$$

Donde $Q(T)$ es el error suavizado y $MAD(T)$ es el MAD suavizado, los cuales se calculan mediante:

$$\text{Error suavizado } Q(T) = we(T) + (1 - w)Q(T - 1)$$

$$\text{MAD suavizada } MAD(T) = w|e(T)| + (1 - w)MAD(T - 1)$$

El valor inicial de error suavizado fue tomado como 0 debido este es el valor esperado de los errores y para el MAD inicial se tomo el primer error absoluto⁹³.

Cuando la señal de rastreo es superior a 1 se considera que se tienen problemas con el sistema de pronóstico y éste debe ser revisado⁹⁴.

Los pronósticos se realizaron con dos (2) años de demanda histórica (2009 y 2010) que al ser organizados en periodos de a cinco (5) días se obtuvieron 146 datos. Sin embargo, para el caso de las plaquetas manuales y por aféresis, la demanda histórica se consideró desde finales del año 2010 y todo el año 2011, debido a que a partir de los últimos periodos del 2010 el comportamiento de las plaquetas empezó a cambiar considerablemente, es decir, la demanda de las plaquetas manuales disminuyó y la de las plaquetas por aféresis se aumentó. Este comportamiento se debe a que en este periodo de tiempo la directora del banco de sangre empezó a inculcar la cultura de la utilización de las plaquetas por aféresis dentro de la institución. A partir de esto, se determinó que las plaquetas manuales son no pronosticables y las plaquetas por aféresis son pronosticables, contrario a lo establecido en la Tabla 9.

Los nuevos datos históricos para las plaquetas no se muestran por motivos de confidencialidad. Por favor dirijase al Departamento de Ingeniería Industrial para tener acceso a esta información.

Los pronósticos de los productos se presentan en el Anexo 1. En todos se encontró que la señal de rastreo era inferior a 1 y para el caso de las demandas intermitentes se encontró que en la mayoría de los casos la aproximación hecha por Syntetos y Boylan superó el método de Croston, menos en el pronóstico del PL A y PL O.

⁹³ Ibid., p. 151.

⁹⁴ Ibid., p. 152.

A continuación se procedió a desarrollar el modelo matemático, para el cual era necesario el conocimiento de los costos por proceso, por ello se presenta la Tabla 10 en la que se puede ver el esquema de costos que se utilizó para costear los procesos por los que se pueden obtener los diferentes productos sanguíneos. Esta información no se presenta en este documento por motivos de confidencialidad. En la parte superior se encuentran los procesos que son utilizados por el banco de sangre en el que se desarrolla este proyecto de grado. Todos los datos fueron proporcionados por el departamento de costos y presupuestos de la entidad, pero en el costeo realizado por la institución no se tiene en cuenta el valor de la bolsa de recolección que depende del proceso por el que se obtuvo cada componente, sino que promedian los costos de los diferentes tipos de bolsas y ese es el valor estándar que manejan independientemente del producto y el proceso utilizado.

Para costear los diferentes procesos, se tuvo en cuenta cuánto le cuesta producir al banco de sangre cada uno de los componentes sanguíneos y estos valores fueron sumados dependiendo de la cantidad de hemoderivados generados en cada uno de los procesos. Adicional a esto, se sumó el valor de la bolsa de recolección que depende del proceso utilizado. Por ejemplo, de uno de los procesos a los que se puede someter la bolsa cuádruple, se obtiene glóbulos rojos no concentrados, plasma y plaquetas, entonces para costear este proceso lo que se hizo fue sumar el costo de producir glóbulos rojos no concentrados adicionando el costo de producir plasma y plaquetas, y a este valor se le sumó el costo de comprar una bolsa cuádruple.

En la entidad han establecido que por ningún motivo es posible la venta de plaquetas que se han extraído por aféresis, debido a que ellos son los captadores más grandes de este tipo de donación en el país y es un valor agregado que brinda el banco de sangre de esta institución. Además, la directora ha establecido que sólo en circunstancias extremas es posible la compra de crioprecipitado y plaquetas manuales, debido a que ellos consideran que el banco de sangre tiene la suficiente capacidad para producir estos dos productos. En caso de que llegue a suceder la compra de alguno de los dos productos, se toma como una falla en la planeación que finalmente afectará las estadísticas sobre las cuales evalúan el desempeño. La compra de glóbulos rojos y plasma es posible sin necesidad de autorización expresa de la directora y coordinadora del banco de sangre, procedimiento que si se requiere cuando sucede la compra de crioprecipitado y plaquetas manuales. Sin embargo, en el modelo no se toman en cuenta estas restricciones debido a que tras indagaciones no se encontró una razón justificable para tenerlas. Además, es paradójico que permitan la compra de glóbulos rojos que en el mercado son 6.25 veces más costosas que el crioprecipitado y 6.04 veces mayor que la compra de plaquetas manuales.

Tabla 10. Esquema de costos

COSTO DE LA UNIDAD DE PROCESAMIENTO	P1 (GRC)	P2 (GRNC + PL)	P3 (GRNC + PL+ PQ)	P4 (GRNC + CRIO)	P5 (GRNC-ALYS)	P6 (PQA)
TOTAL COSTO						
MANO DE OBRA DIRECTA:						
BACTERIOLOGA						
ENFERMERA I						
AUX. LABORATORIO						
MANO DE OBRA INDIRECTA:						
AUX. LABORATORIO						
COSTO DE INSUMOS Y REACTIVOS						
CONSUMOS FLEBOTOMIA - RECOLECCION						
CONSUMOS HEMOCLASIFICACION Y RASTREO DE ANTICUERPOS						
CONSUMOS PRUEBAS INFECCIOSAS						
OTROS COSTOS						
COSTO DE EQUIPO						
COSTOS FIJOS						
COMPRAS INTERNAS OPVAS						
COMPRAS INTERNAS ADVAS						
COMPRAS EXTERNAS						
JEFE DEL LABORATORIO						
JEFE DEL BANCO DE SANGRE						

Tabla 10. (Continuación).

COSTO DE LA UNIDAD DE PROCESAMIENTO	P1 (GRC)	P2 (GRNC + PL)	P3 (GRNC + PL+ PQ)	P4 (GRNC + CRIO)	P5 (GRNC-ALYS)	P6 (PQA)
COORDINADORA DEL LABORATORIO						
PATOLOGOS (OTRAS ACTIVIDADES)						
PERSONAL BS (OTRAS ACTIVIDADES)						
COSTO DE CAMPAÑA						
DESECHO (DONANTES RECHAZADOS Y PRUEBAS REACTIVAS)						
DESECHO (VENCIMIENTO Y CAUSAS TECNICAS)						
BOLSA DE RECOLECCIÓN DOBLE						
FILTRO G-ROJOS PEDIATRICO						
PLAQUITAS DE SOLDADURA REF:4R4350x138 -cuchilla						

Fuente: Las autoras.

6.2.3 Modelo

Se estableció un modelo en el cual se busca que el uso de los recursos escasos como los tipos sangre poco comunes sean penalizadas. Este tipo de penalización se estableció en la producción y la compra de productos, en el primero ésta fue establecida a través de los costos de los procesos más un valor de penalización que estaba asociado a la proporción de los tipos de sangre en la sociedad y para la compra, se estableció como el costo promedio al cual la entidad compra los componentes sanguíneos más una penalización que al igual que la que se tuvo en cuenta para la producción está asociada a la escasez de los tipos de sangre. Por motivos del planteamiento estratégico del banco de sangre, en donde se establece el objetivo de autosuficiencia, se decidió que el costo más la penalización de las compras debía ser más costoso que costo de producción más su respectiva penalización. Lo anterior es para que el modelo sólo decidiera comprar en caso de que la restricción sobre el límite de donantes no pudiera ser cumplida si se obtenía el componente por los propios medios del banco de sangre.

Conjuntos:

- $A =$ Conjunto de tipos de sangre.
- $B =$ Conjunto de tipos de procesos.
- $C =$ Conjunto de productos.

Índices:

- $i =$ Conjunto de tipos de sangre.
- $k =$ Conjunto de tipos de procesos.
- $j =$ Conjunto de productos.
- $l =$ Conjunto de productos.

Parámetros:

- $CA_{ijk} =$ Cantidad de producto j obtenido a partir de aplicar el proceso k a un donante con tipo de sangre i . [Unidades].

Este parámetro se encuentra especificado en la Tabla 4.

- COP_{ik} = Costo de producción más penalización al procesar un donante del tipo de sangre i por el proceso k . [\\$]
- D_l = Demanda del producto l . [Unidades]
- $CO_{jl} = \begin{cases} 1 & \text{el producto } j \text{ es compatible con el producto } l. \\ 0 & \text{el producto } j \text{ no es compatible con el producto } l. \end{cases}$

Este parámetro se estableció en las Tablas 5, 6 y 7.

- DON_i = Maxima cantidad de donantes por el tipo de sangre i en un periodo de 5 días.
- $DESC_j$ = Descarte de los productos j .
- COM_j = Costo de comprar el producto j más la penalización. [\\$]
- P = Proporción de donantes totales a los cuales se les puede aplicar el proceso 5 (ALYS).

Variables:

- X_{ik} = Cantidad de donantes con tipo de sangre i que se debe procesar de la forma k .
- Y_{jl} = Cantidad de producto l que se abastecerá con el producto j .
- Z_j = Cantidad comprada del producto j .

Función Objetivo:

La función objetivo representa el costo total (costo de producción más el costo de compra, cada uno con sus respectivas penalizaciones), de procesar todas las unidades de sangre requeridas para satisfacer la demanda.

W = Costo total

$$\text{Min } W = \sum_{i \in A} \sum_{k \in B} COP_{ik} * X_{ik} + \sum_{j \in C} COM_j * Z_j$$

Restricciones:

R1) Satisfacción de demanda:

La cantidad de producto l que se abastecerá con el producto j debe ser mayor que la demanda de productos l, incrementada por el porcentaje de descarte.

$$\sum_{j \in C} (Y_{jl} * CO_{jl}) \geq \sum_{j \in C} D_l * (1 + DESC_j); \forall l \in C$$

La restricción de satisfacción de demanda plantea que a través de la variable de decisión Y_{jl} existe la posibilidad de atender la demanda de un determinado producto utilizando otro producto que sea compatible, esto se garantiza a partir del parámetro CO_{jl} que define la compatibilidad. De igual forma, en el lado derecho se hace un incremento de la demanda basado en la lógica que existe cierta tasa de descarte de los productos, es decir, un porcentaje de los productos finales procesados no es apto para la transfusión a los pacientes.

R2) Disponibilidad de productos:

La cantidad de producto l que se abastecerá con el producto j no puede ser mayor que a cantidad disponible de i (Producción más compras).

$$\sum_{l \in C} Y_{jl} \leq \sum_{i \in A} \sum_{k \in B} (X_{ik} * CA_{ijk}) + Z_j; \forall j \in C$$

La ecuación de esta restricción garantiza que las unidades utilizadas de cada producto para abastecer la demanda del mismo o de otros hemocomponentes estén disponibles a partir de las cantidades obtenidas después de procesar la sangre por los diferentes procesos y la cantidad que se debe comprar.

R3) Cantidad de donantes:

La cantidad del tipo de sangre i que se procesará por el proceso k debe ser menor o igual a la cantidad máxima de donantes con el tipo de sangre i en un periodo de 5 días.

$$\sum_{k \in B} X_{ik} \leq DON_i ; \forall i \in A$$

En esta restricción plantea que la cantidad de los diferentes tipos de sangre que se deben procesar no puede ser superior a la cantidad de donantes disponibles con un determinado tipo de sangre, debido a que se debe garantizar la factibilidad de los resultados de acuerdo con la capacidad de consecución de donantes y las proporciones de estos en la población. Esta restricción es importante, ya que de no existir, posiblemente los resultados del modelo indicarían que se debe conseguir una cantidad muy alta de determinados tipos de sangre que son escasos en la sociedad, como por ejemplo el O-.

R4) Cantidad de donantes por el proceso ALYS:

El número de donantes requeridos por el proceso cinco (5) debe ser menor o igual a la cantidad total de donantes que se les puede aplicar este proceso.

$$\sum_{i \in A} X_{i5} \leq P * \sum_{i \in A} \sum_{k \in B} X_{ik}$$

Con esta restricción se garantiza que los donantes que pueden ser procesados por el proceso 5 no excedan su valor máximo, ya que las personas aptas para este proceso deben cumplir con ciertos requisitos médicos, como los son el porcentaje de hemoglobina y el peso.

6.2.4 Validación de parámetros e inventarios de seguridad

Esta información no se muestra en este documento. Si usted desea tener mayor información sobre cada uno de los parámetros por favor diríjase al Departamento de Ingeniería Industrial.

6.3. Validar el modelo

Por motivos de confidencialidad, la validación del modelo elaborado no se muestra en este documento. Por lo tanto, si desea conocer los resultados obtenidos, por favor diríjase al Departamento de Ingeniería Industrial.

6.4. Desarrollar un entregable definiendo cuáles serían los lineamientos para la implementación del modelo

6.4.1 Guía

GUÍA DE USUARIO PARA EJECUTAR LA HERRAMIENTA DE PLANEACIÓN DE PRODUCCIÓN DE COMPONENTES SANGUÍNEOS.

**Elaborada por: Angélica Arciniegas Méndez
 María del Pilar Salazar Mosquera
 Andrés Felipe Osorio Muriel**

Fecha de Elaboración: 18 de Octubre de 2012

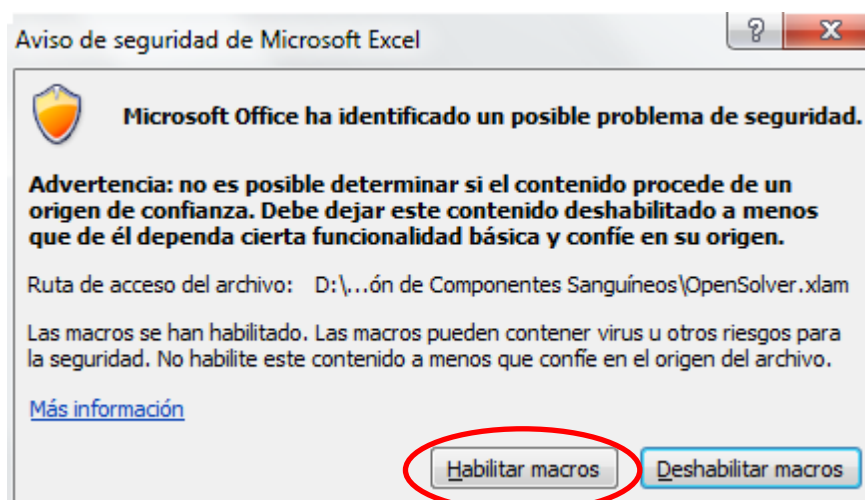


IMPORTANTE: El objetivo de esta guía es facilitar el uso de la herramienta a las bacteriólogas del banco de sangre, quienes planean la producción de componentes sanguíneos. Ellas deberán ejecutar la herramienta cada 5 días para planear el siguiente periodo de producción.

La guía se desarrolló pensando en que el usuario pudiera ver reflejado en la pantalla exactamente lo que veía en la guía, por ello ésta contiene imágenes de cada uno de los pasos que el usuario debe ejecutar.

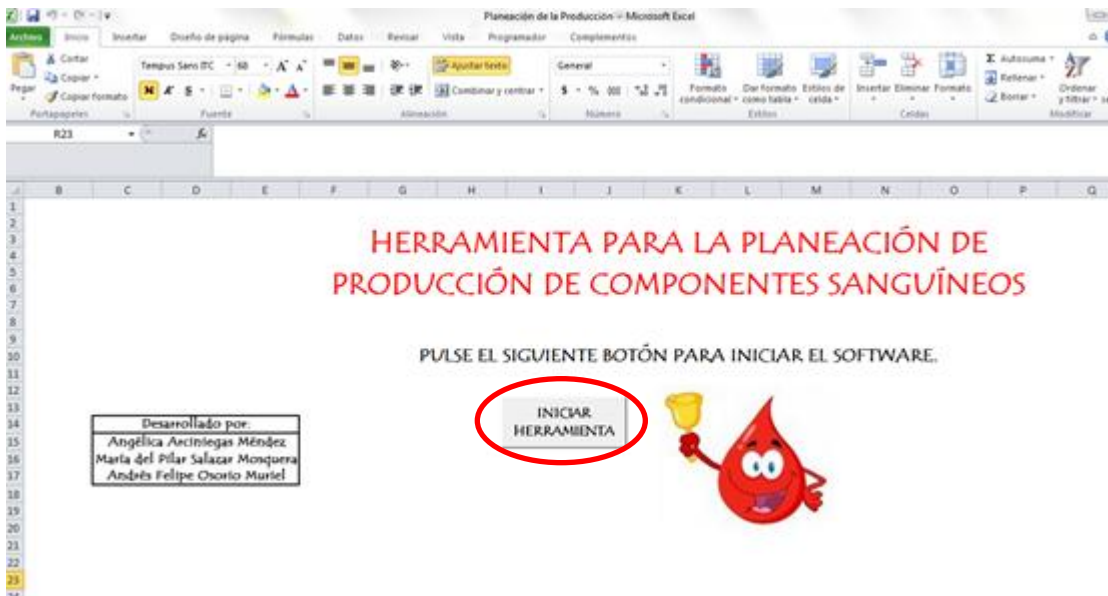
Para iniciar la herramienta de planeación de producción, debe seguir los siguientes pasos:

- 1) Copiar la carpeta “Herramienta – Planeación de Producción de Componentes Sanguíneos” que se encuentra en el CD entregado. Esta carpeta se debe copiar en un lugar que sea de fácil acceso para usted.
- 2) Abrir la carpeta que lleva por nombre: “Herramienta – Planeación de Producción de Componentes Sanguíneos”.
- 3) Hacer click en el archivo: “OpenSolver”.
- 4) Una vez se abra el archivo anterior, aparecerá la siguiente ventana:



En este recuadro debe hacer click en “Habilitar macros”.

- 5) En el archivo de Excel que se abrió, dar click en “Archivo”, “Abrir” y buscar la carpeta “Herramienta – Planeación de Producción de Componentes Sanguíneos”, en el lugar que usted la guardó.
- 6) En la carpeta: “Herramienta – Planeación de Producción de Componentes Sanguíneos” hacer click en el archivo: “Planeación de la Producción”.
- 7) En parte superior hacer click en “Habilitar contenido”.
- 8) Hacer click en el botón “INICIAR HERRAMIENTA”.



- 9) Al hacer click en el botón anterior, aparecerá el siguiente recuadro:



En este recuadro, aparecerá en la parte inferior un botón llamado “SIGUIENTE”, en el cual debe hacer click para continuar con la aplicación. Con esta acción aparecerá la siguiente ventana:

INGRESAR LOS SIGUIENTES DATOS

	DEMANDA POR PERIODOS DE 5 DÍAS	INVENTARIO DISPONIBLE		DEMANDA POR PERIODOS DE 5 DÍAS	INVENTARIO DISPONIBLE	
CRIO A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC AB-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACTUALIZAR INFORMACIÓN
CRIO AB	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC AB+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CRIO B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC B-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PRONOSTICAR
CRIO O	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC B+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC A-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC O-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OPTIMIZAR
GRC A+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC O+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC AB-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	FL A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC AB+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	FL AB	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC B-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	FL B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC B+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	FL O	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC O-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PQA-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC O+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PQA+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRNC A-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PQM-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRNC A+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PQM+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

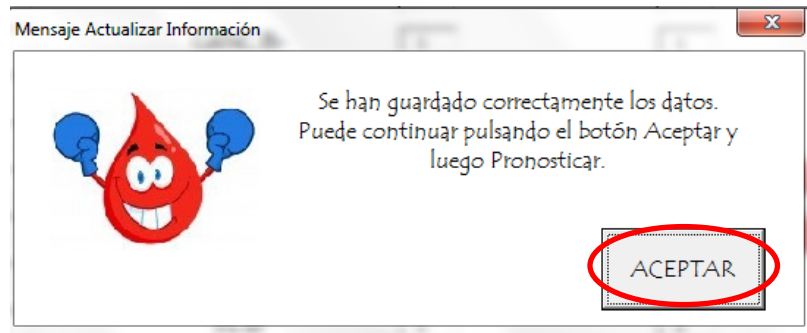
En este recuadro usted debe ingresar la demanda de todos los productos con su inventario disponible. Es importante tener en cuenta que la demanda corresponde a un periodo de cinco (5) días. Además, ésta es medida en términos del grupo sanguíneo y el Rh del paciente, NO el correspondiente a la bolsa del producto que a éste se le transfundió.

Por otro lado, si un producto presenta una demanda de cero (0) o su inventario disponible es cero (0), se debe digitar este valor en la celda correspondiente, es decir, por ningún motivo debe dejar los campos vacíos, porque la aplicación no le permitirá continuar indicándole cuál de los datos hace falta.

- 10) Cuando se hayan digitado todos los valores y este seguro de su veracidad, debe hacer click en la primera imagen que tiene el nombre “ACTUALIZAR INFORMACIÓN”.

Con este botón se guardarán todos los valores que usted digitó para posteriormente ser utilizados.

- 11) Luego, aparecerá el siguiente mensaje y usted debe hacer click en “Aceptar” para poder continuar con el proceso.



12) Hacer click en la segunda imagen, cuyo nombre es "PRONOSTICAR". Esta opción realizará el pronóstico de cada uno de los componentes sanguíneos.

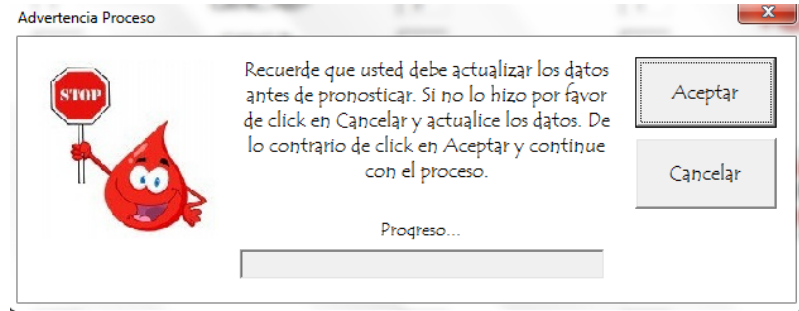
	DEMANDA POR PERIODOS DE 5 DÍAS	INVENTARIO DISPONIBLE		DEMANDA POR PERIODOS DE 5 DÍAS	INVENTARIO DISPONIBLE
CRIO A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC AB-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CRIO AB	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC AB+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CRIO B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC B-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CRIO O	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC B+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GRC A-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC O-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GRC A+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC O+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GRC AB-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PLA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GRC AB+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PLAB	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GRC B-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PLB	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GRC B+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PLO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GRC O-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PQA-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GRC O+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PQA+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GRNC A-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PQM-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GRNC A+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PQM+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Es importante tener en cuenta que los pronósticos deben ser revisados periódicamente por un Ingeniero Industrial, con el fin de poder determinar si se debe cambiar el método de pronóstico utilizado para cada producto.

Se debe tener claro que los pronósticos son un método para tener una aproximación de lo que posiblemente suceda en un futuro, pero ningún pronóstico es exacto.

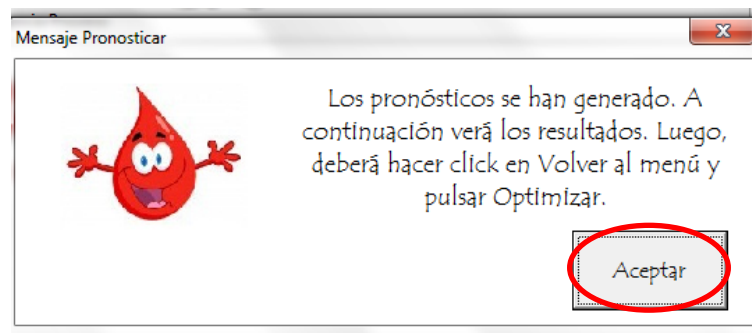
13) Cuando haya hecho click en “PRONOSTICAR”, aparecerá el siguiente mensaje.



Como puede observar en la imagen anterior, usted tiene dos (2) opciones.

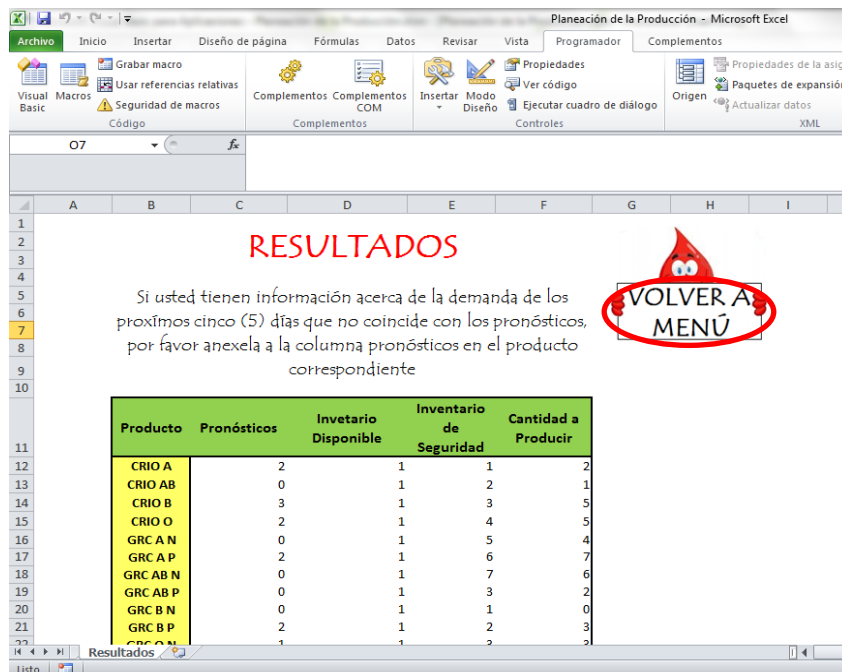
- Si ingresó todos los datos en el paso 11 y luego dio click en el botón “ACTUALIZAR INFORMACIÓN”, por favor continúe haciendo click en “Aceptar” para seguir con el proceso.
- Si ingresó todos los datos en el paso 11 y no dio click en el botón “ACTUALIZAR INFORMACIÓN”, por favor haga click en “Cancelar”, ya que es necesario que usted actualice la información para poder continuar con el proceso. Después de hacer click en “Cancelar”, diríjase al botón “ACTUALIZAR INFORMACIÓN”, de click en éste y luego en “Aceptar”.

14) Al hacer click en “Aceptar” en el mensaje mostrado en el paso 13, aparecerá el siguiente recuadro:



Al hacer click en “Aceptar” usted podrá ver la cantidad a pronosticar para cada uno de los productos en la hoja que se llama “Resultados”. Por lo tanto, si considera que esta cantidad no corresponde a lo que usted cree que se necesitará para el próximo periodo de cinco (5) días, por favor cambie el valor en la celda correspondiente. Es importante que este muy seguro del valor que vaya a cambiar, ya que esta acción no la podrá hacer más adelante.

Una vez haya revisado detalladamente los valores que se van a pronosticar, hacer click en “VOLVER A MENÚ”, como se muestra en la siguiente imagen:



15) Hacer click en la tercera imagen llamada “OPTIMIZAR”. Esta opción le permitirá conocer la cantidad de donantes que se deben conseguir para cada tipo de sangre y la forma en que se debe procesar la sangre recolectada para un periodo de cinco (5) días. Además, podrá conocer cómo debe abastecer la demanda para dicho periodo. Es importante que tenga en cuenta que NO debe volver a digitar los valores de demanda por periodos de cinco (5) días ni los del inventario disponible.

INGRESAR LOS SIGUIENTES DATOS

	DEMANDA POR PERIODOS DE 5 DÍAS	INVENTARIO DISPONIBLE		DEMANDA POR PERIODOS DE 5 DÍAS	INVENTARIO DISPONIBLE	
CRO A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC AB-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACTUALIZAR INFORMACIÓN
CRO AB	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC AB+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CRO B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC B-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CRO O	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC B+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC A-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC O-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC A+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GRNC O+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PRONOSTICAR
GRC AB-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	FLA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC AB+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	FLAB	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC B-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	FLB	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC B+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	FLO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC O-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PQA-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRC O+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PQA+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRNC A-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PQM-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GRNC A+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PQM+	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OPTIMIZAR

16) A continuación aparecerá el siguiente recuadro en el que usted tendrá dos (2) opciones:

Advertencia Proceso

Recuerde que usted debe pronosticar antes de optimizar. Si no lo hizo por favor de click en Cancelar y pronostique los datos. De lo contrario de click en Aceptar y continúe con el proceso.

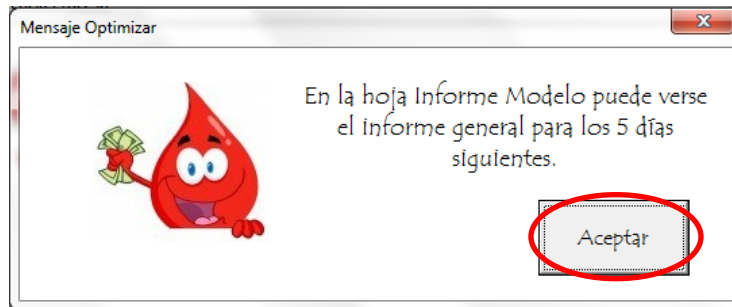
Progreso...

Aceptar

Cancelar

- Si por algún motivo no hizo click en el botón “PRONOSTICAR”, por favor de click en “Cancelar” y luego diríjase a “PRONOSTICAR” en donde debe hacer click.
- Si usted dio click en “PRONOSTICAR”, por favor de click en “Aceptar” para seguir con el proceso.

17) Al hacer click en "Aceptar" aparecerá el siguiente mensaje donde debe hacer click en "Aceptar" para seguir con el proceso. Con esta acción podrá ver los resultados del modelo en la hoja "Informe Modelo".



Si desea conservar el informe del modelo, debe copiar esta hoja en otro archivo y eliminarla del archivo original. Además, debe tener en cuenta que al cerrar el archivo debe haber guardado los cambios, de lo contrario la base de datos de la demanda no habrá sido actualizada y esto afectará el resultado que el software arroje para los periodos futuros.

6.4.2 Recomendaciones de uso

- Cuando presione actualizar información el usuario debe estar seguro de que los datos que ha introducido sean veraces. De lo contrario alterará la base de datos y esto afectará el pronóstico de periodos futuros.
- No manipule las hojas ocultas o las desbloquee a menos que esté realizando una labor de actualización de parámetros.
- Para la actualización de los parámetros se propone la intervención de un ingeniero industrial que acceda a la hoja "Modelo" que se encuentra oculta y la desbloquee a través de la contraseña "PlaneacionBS" e introduzca los valores de cada uno de los parámetros como se indica a continuación:
 - De la celda AN88 hasta la AN95, debe introducir la cantidad de donantes máximos por tipo de sangre que especificado al lado derecho.
 - De la celda D8 hasta la D55, se encuentran los costos de proceso, digitados manualmente y sumados a las penalizaciones. Para cambiar estos costos, debe reemplazar los nuevos valores por los que se encuentran digitados.

- Los costos de compra se deben modificar desde la celda AK8 hasta la celda AK35, de acuerdo a cada uno de los hemocomponentes.
- La tasa de descarte promedio es posible actualizarla desde la celda AT101 hasta AT128.
- El porcentaje de donantes a los cuales se les puede aplicar el proceso del ALYS, se puede modificar en la celda AS88.
- El parámetro correspondiente a la compatibilidad de productos puede ser modificado en el rango de celdas G101: AH128.
- La cantidad de producto que se extrae por cada uno de los procesos se puede cambiar a través de la modificación del valor de las celdas que están en el rango G8:AH55.

Para modificar los inventarios de seguridad, la persona encargada debe mostrar la hoja oculta "Inventarios de Seguridad" y desprotegerla con la contraseña "PlaneacionBS". En esta hoja, podrá cambiar el valor de los inventarios de acuerdo a cada uno de los hemocomponentes.

Finalmente, para cambiar los métodos de pronóstico asignados a cada producto, el ingeniero industrial debe ir a la macro llamada Pronóstico y modificar para cada hemocomponente el método que se desea establecer, cuidando que el nombre que se especifica corresponda al mismo que se encuentra en la plantilla que se utiliza para realizar el pronóstico. Además, debe utilizar cada una de las plantillas (se encuentran en hojas ocultas y se desbloquean la contraseña mencionada) para hallar los parámetros óptimos, los cuales debe introducir en la hoja llamada "Parámetros Óptimos".

El Ingeniero Industrial cuenta con la ayuda de la hoja "Clasificación de la demanda" para corroborar que los métodos de pronóstico establecidos aún siguen siendo válidos de acuerdo al comportamiento de los datos.

7. CONCLUSIONES

7.1 Conclusiones respecto modelo

- El modelo elaborado para la planeación de la producción permite hacer un mejor uso de los recursos, ya que se logró demostrar que con una menor cantidad de donantes es posible abastecer la demanda de los diferentes componentes sanguíneos, sin necesidad de incurrir en la compra de estos productos a otras instituciones. Además, al hacer uso del modelo el banco de sangre podrá hacer una mejor planeación de las campañas y así evitar la sobrerrecolección.
- Con el modelo desarrollado, el banco de sangre puede abastecer de manera más eficiente los componentes sanguíneos que se requieren haciendo un mejor uso de las compatibilidades, es decir, los tipos de sangre más escasos y que pueden ser utilizados para abastecer a la mayoría de los productos, sólo serán utilizados en caso de no presentar compatibilidad con otros.

7.2 Conclusiones respecto al banco de sangre

- El banco de sangre no debe establecer metas de producción de hemocomponentes sin tener en cuenta la demanda. Debido a que se consume recursos valiosos para la sociedad y se incurre en el gasto de insumos innecesarios involucrados en el procesamiento. Esta situación se pudo evidenciar con el crioprecipitado, donde se ha fijado una meta de determinadas unidades por mes, un valor que es muy superior al consumo promedio.
- Al hacer un mejor uso de la sangre recolectada, el banco de sangre puede ser autosuficiente y así establecer convenios con otras instituciones para ofrecer sus productos y lograr la venta de los mismos, ya que tienen suficiente capacidad de captación.

8. RECOMENDACIONES

8.1 Recomendaciones respecto a la herramienta

- El banco de sangre junto con el área de mejoramiento y estandarización debe hacer una validación periódica similar a la realizada en este proyecto de grado, donde se compare los resultados arrojados por el modelo con los obtenidos en la realidad.
- Frente a la herramienta, se recomienda la intervención de un ingeniero industrial para que verifique el comportamiento de la demanda y ajuste el método de pronóstico que debe aplicar a cada producto. Además, los parámetros deben ser actualizados periódicamente.

8.2 Recomendaciones respecto al banco de sangre

- Debido a que en la sociedad existen tipos de sangre muy escasos, se propone que el banco de sangre en el que desarrolló este proyecto de grado, establezca convenios con otras instituciones en el que se plantee que cada banco será el encargado de conseguir un tipo escaso de sangre y este será el encargado de aprovisionar a los otros en caso de cualquier emergencia.
- En caso de que las otras instituciones no acepten concentrar sus esfuerzos en conseguir un determinado tipo de sangre, el banco de sangre en estudio puede formar una base de datos en la que se encuentre información de las personas que poseen un tipo de sangre escaso. Esto se hace con el objetivo de que el banco pueda recurrir a estas personas en caso de necesitarlos.

Una extensión de lo anterior sería un club de donantes de sangre así como el que se ha establecido con los donantes de plaquetas por aféresis, ya que de esta manera se disminuye la incertidumbre de la oferta y podrían programarse los donantes con una mayor seguridad. Además, esto permitiría realizar las pruebas infecciosas antes de hacer la sangría, con lo que se obtiene un mejor aprovechamiento de los insumos.

- Se recomienda realizar un estudio en el que se incluya el impacto que tienen los niveles de accidentalidad en el consumo de los componentes sanguíneos.

- Se recomienda analizar la forma en que se organizan y programan las campañas de donación, debido a que en éstas no se deben establecer recolectas sin restricciones de cantidad, ya que en estudios anteriores se logró demostrar que esto es la peor opción, debido a los costos de vencimiento en los que se puede incurrir. Además, en un determinado mes se podría generar un exceso de donantes que en un mes posterior podría ser necesitado, debido a que se deben respetar ciertos tiempos entre una donación y otra.
- Los procedimientos del banco de sangre siempre deben mantenerse documentados y actualizados, ya que no poseen procedimientos elaborados por ellos mismos, sino que se apoyan en unos parámetros establecidos por ley. Ante esto, cada bacterióloga sigue sus propios pasos de acuerdo a lo que ha aprendido.
- En cuanto a la venta de productos se recomienda que la directora del banco de sangre tenga conocimiento sobre los costos de los mismos, debido a que estaban ofreciendo productos por debajo del costo. Ante esto, ellos argumentaron que necesitaban ser competitivos y que según información del área de costos y presupuestos la pérdida en algunos productos era recuperada en otros. Sin embargo, las autoras no reconocen como una buena decisión el establecimiento de precios de venta sin conocimiento del costo. Por ello, se recomienda capacitación a las personas que toman estas decisiones o un mejor apoyo del área de costos y presupuestos.

9. FUTURAS INVESTIGACIONES

- El modelo desarrollado optimiza las decisiones de producción para un horizonte de 5 días, por esta razón las restricciones de vida útil de los productos no son relevantes. Sin embargo, se propone como extensión desarrollar horizontes de planeación más largos incluyendo restricciones de almacenamiento y vida útil de los productos. Esto puede conllevar a mejorar aún más los resultados presentados en este trabajo.
- En Colombia gran parte de los bancos de sangre están asociados a instituciones de salud, pero en países desarrollados existe el concepto de bancos de sangre regionales y nacionales e inclusive en un concepto más amplio, cadenas de abastecimiento de sangre. En ese sentido sería interesante estudiar los procesos de planeación de producción para demandas provenientes de diferentes entidades, esto podría conllevar a hacer mucho más eficiente el aprovechamiento de los donantes, que bien se sabe es un recurso escaso.
- La planeación de la producción en este modelo es desarrollada a partir de pronósticos de demanda, pero en el modelo el parámetro de la demanda se asume determinístico en ese sentido sería interesante desarrollar el modelo propuesto bajo un enfoque estocástico donde se incluya la incertidumbre en la demanda de cada producto.

BIBLIOGRAFÍA

AMAYA, Ciro Alberto. Logística hospitalaria: Un desafío para ingenieros industriales. En: Sistemas avanzados de gestión. Organizaciones inteligentes. Cali: Bonaventuriana. p. 105-120.

BALLESTER, Adalberto, *et al.* Obtención de Componentes Sanguíneos. [En línea]. 2012. [Citado 14-Abril-2012]. Disponible en internet: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/hematologia/componentesangre.pdf.pdf>

BELIËN, Jeroen y FORCÉ Hein. Supply chain management of blood products: A literature review. En: European Journal of Operation Reach. Mayo, 2011. vol. 17, no. 1, p. 1-16.

BOYLAN, John E; SYNTETOS, Aris A. Forecasting for Inventory Management of Service Parts. En: Service Parts Management: Demanda forecasting and Inventory Control. p. 479-506.

BUSTAMANTE, Alma Valeria y ORDOÑEZ, Laura. Propuesta de mejora en la logística hospitalaria del banco de sangre de una IPS de la ciudad de Cali. Trabajo de grado Ingeniera Industrial. Cali: Universidad Icesi. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial, 211, 59-60 p.

CÁMARA DE COMERCIO DE BARRANQUILLA. Información sobre el Sector Salud. [En línea]. SF. [Citado 21-Abr-2012]. Disponible en internet: http://www.camarabaq.org.co/index.php?option=com_content&view=article&id=419&Itemid=271

CANT, Lindsey. LIFE-SAVING DECISIONS:A Model for Optimal Blood Inventory Management. Trabajo de grado de Licenciatura de Ciencias en Ingeniería. Princeton. Princeton University. Departamento de Investigación de Operaciones e Ingeniería Financiera.

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 1571 (12, Agosto,1993). Por el cual se reglamenta parcialmente Título IX de la Ley 09 de 1979, en cuanto a funcionamiento de establecimientos dedicados a la extracción, procesamiento, conservación y transporte de sangre total o de sus hemoderivados, se crean la

Red Nacional de Bancos de Sangre y el Consejo Nacional de Bancos de Sangre y se dictan otras disposiciones sobre la materia. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1993, p.1-38.

COHEN, Roger. Pronósticos. [En línea]. SF. [Citado 01-May-2012]. Disponible en internet: <http://materias.fi.uba.ar/7628/PronosticosTexto.pdf>.

CHAPMAN, JF., et al. Recommendation for effective blood supply management. En: Vox Sanguinis. Noviembre, 2007. v. 93, p. 385-394.

CHAPMAN, J.F.; HYAM C.; R. HICK. Blood inventory management. En: Vox Sanguinis. 2004. vol. 87. p. 143-145.

CHIAVENATO, Idalberto. Planeación y control de la producción. En: Iniciación a la planeación y el control de la producción. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw Hill, 1999. p. 23-45.

DUEÑAS, Victor Hugo. Preparación y almacenamiento de componentes sanguíneos. En: El Banco de Sangre. Teoría, principios y procedimientos. 2 ed. Cali: Universidad del Valle, 2003. p. 196.

FRANKFURTER, George M., KENDALL, Kenneth E. y PEGELS, C. Management control of blood through a short term supply – demand forecast system. En: Management Science. Diciembre, 1974. vol. 21, no. 4, p. 444-452.

HESSE, Susan M, *et al.* A case study in platelet inventory management. [En línea]. 1996. [Citado 28-Mayo-2012]. Disponible en internet: <http://sitemaker.umich.edu/msdaskin/files/hessedaskinetalierc1997bloodbank.pdf>

LOWALEKAR, Harshal y RAVICHANDRAN N. Model for blood collections management. En: Transfusion. Diciembre, 2010. vol. 50, p. 2778-2784.

NAHMIAS, Steven. Perishable Inventory Theory: A review. California. The University of Santa Clara. 1982, p. 680-708.

NAHMIAS, Steven. Preliminaries. En: Perishable Inventory Systems. New York: Springer. 2011. p.1-6

PARRA, Francisca. Conceptos básicos. En: Gestión de stocks. 3 ed. España: ESIC, 2005. p. 13-54.

PEREIRA, Arturo. Performance of time-series methods in forecasting the demand for red blood cell transfusion. En: Transfusion. Mayo, 2004. vol 44, p. 739-736.

PEREIRA, A. Blood inventory management in the type and screen era. En: Vox Sanguinis. 2005. no. 89, p. 245-250.

PIERSKALLA, William. Supply chain management of blood banks. En: Operations research and health care. Boston: Kluwer Academic Publisher, 2004. p. 103-145.

PINSON, Suzanne, *et al.* A computer simulation analysis of blood bank inventory policies. [En línea]. 1974. [Citado 26-Mayo-2012]. Disponible en internet: http://www.anderson.ucla.edu/faculty/william.pierskalla/Chronological_Bank/Research_and_Publication_Chro.html

PRASTACOS, Gregory P. Blood inventory management: A review of theory and practice. En: Revista Management Science. Julio, 1984, vol. 30, no.7. p. 777-800.

RAPPOPORT, Arthur E. Planning your blood bank? En: Transfusion. Marzo - Abril, 1961. vol. 1, p. 133-137.

SILVER, Edward y PETERSON, Rein. Decision Rules for Style Goods and Perishable Items. En: Decision systems for inventory management and production planning. 2 ed. New York: John Wiley, 1985. p. 396-422.

SIPPER, Daniel y BULFIN, Robert L. Inventarios: sistemas de demanda independiente. En: Planeación y control de la producción. México: McGraw-Hill, 2004. p. 218-333.

SIPPER, Daniel y BULFIN, Robert L. Pronósticos. En: Planeación y control de la producción. México: McGraw-Hill, 2004. p. 96-172.

SYNTETOS, Aris A; BOYLAN, John E. The accuracy of intermittent demand estimates. En: International Journal of Forecasting. 2005. vol. 21, p. 303-314. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. [En línea]. SF. [Citado 28-May-2012]. Disponible en internet: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4030006/lecciones/capitulo_cinco/5_2_5.html

VIDAL, Carlos Julio. Pronósticos de demanda. En: Fundamentos de control y gestión de inventarios. Cali: Universidad del Valle, 2009. p. 41-134.

VIDAL, Carlos Julio. Pronósticos de demanda. En: Planeación, optimización y administración de cadenas de abastecimiento. Santiago de Cali: Programa editorial: Universidad del Valle, 2009. p. 69-162.

ANEXOS

ANEXO 1 Pronósticos de demanda

Por motivos de confidencialidad no se muestran en este documento. Por favor diríjase al Departamento de Ingeniería Industrial para poder acceder a esta información.

ANEXO 2 Inventarios de seguridad

Por motivos de confidencialidad no se muestran en este documento. Por favor diríjase al Departamento de Ingeniería Industrial para poder acceder a esta información.

ANEXO 3 Resultados periodos de 5 días

Por motivos de confidencialidad no se muestran en este documento. Por favor diríjase al Departamento de Ingeniería Industrial para poder acceder a esta información.