

Aplicación de la modelación matemática  
MILP para el análisis de los sistemas  
productivos de los bancos de sangre: Caso de  
estudio Montería

María Teresa Barrios Negrete

Andrea Lozano de León

Universidad Pontificia Bolivariana.

Escuela de Ingeniería, Arquitectura y afines.

Ingeniería industrial.

Montería, Colombia

Año 2022



# Aplicación de la modelación matemática MILP para el análisis de los sistemas productivos de los bancos de sangre: Caso de estudio Montería

María Teresa Barrios Negrete

Andrea Lozano de León

Tesis o trabajo de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

**Pregrado en Ingeniería Industrial**

Director:

MSc.Victor Mario Noble Ramos

Escuela de Ingeniería, Arquitectura y afines.

Montería, Colombia

Año 2022

Título del proyecto	" Aplicación de la modelación matemática MILP para el análisis de los sistemas productivos de los bancos de sangre: Caso de estudio Montería"
Estudiantes de Trabajo de Grado	Nombres y apellidos: Maria Teresa Barrios Negrete Andrea Lozano de León
Director(es)	Nombres y apellidos: Victor Mario Noble Ramos
Unidad académica	Facultad de ingeniería industrial
Institución donde realizará el proyecto	Banco de sangre Montería Banco de sangre San Jerónimo Universidad Pontificia Bolivariana
Fecha de inicio	18/01/2021
Fecha de finalización	18/04/2022
Línea de trabajo o área del conocimiento en la cual se inscribe el proyecto.	Investigación de Operaciones

# Agradecimientos

Le agradecemos infinitamente a Dios por darnos la sabiduría necesaria para afrontar cada momento vivido durante esta investigación.

Agradecemos a nuestros padres, familiares y amigos que nos animaron para dar lo mejor de nosotras.

Agradecemos a nuestro tutor Víctor Mario Noble por su guía, acompañamiento, diligencia y comprensión absoluta durante todo este recorrido.

Agradecemos a todos nuestros docentes y compañeros que durante la carrera nos dieron las bases y nos motivaron a seguir esta rama de investigación.

Agradecemos a la Universidad Pontificia Bolivariana por brindarnos todos los recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto.

Finalmente agradecemos la una a la otra, por todo el apoyo, dedicación, esfuerzo y conocimientos aplicados en este proyecto.

A todos gracias por hacer de esto una realidad y de nosotras, unas profesionales íntegras.

A mi familia: mamá, papá, hermana, abuela,  
tíos, tías y primos.

*Andrea Lozano de León*

A mis padres y hermano.

*María Teresa Barrios Negrete*

## Resumen

En el presente trabajo de investigación se modela mediante la programación lineal entera mixta la programación de operaciones en bancos de sangre de Montería con el fin de apoyar la planeación de la producción e inventarios de componentes sanguíneos.

La sangre posee ciertas características que son restrictivas a la hora de tomar decisiones tales como: demanda variable por hemocomponente, cantidad disponible de donantes por tipo de sangre, compatibilidad entre tipos de sangre, restricciones propias del donante, métodos de obtención, almacenamiento con ciertas condiciones para cada hemocomponente y el tiempo de vida útil por hemocomponente.

La inclusión de estas características a la hora de tomar decisiones es crítica debido a que inciden de manera directa en la sobrecolección o escasez de las unidades de sangre en una jornada, lo cual implica un incremento de los costos de producción, el vencimiento indeseado de unidades y/o la falta de cubrimiento de la demanda.

De esta forma para representar este problema se obtuvieron tres modelos que soportan la toma de decisiones de cada banco de sangre en el abastecimiento de la demanda de los componentes sanguíneos, dando como resultado una cantidad óptima de hemocomponentes a recolectar en una jornada bajo una demanda determinista y una correcta gestión de inventarios según las características que representan cada sistema de producción.

Adicionalmente, se validaron resultados con instancias de distintos tamaños en los horizontes de planeación, mostrando la eficiencia del modelo básico (BLSP-B) en cuanto a tiempos computacionales, la flexibilidad y adaptabilidad que logra representar el modelo sin pruebas continuas (BLSP-NCT) frente al proceso de pruebas.

Luego de su validación, se mostró que los modelos presentados abarcan las características generales de la gestión de la sangre, sin embargo, el modelo sin pruebas continuas (BLSP-NCT) pudo representar los dos sistemas expuestos por los bancos de sangre, mostrando su adaptabilidad y flexibilidad.

**Palabras clave:** Programación lineal, Planeación, Control de inventarios perecederos, Banco de sangre.

## Abstract

In the present research work, the programming of operations in blood banks in Montería is modeled through mixed integer linear programming in order to support the planning of production and inventories of blood components.

Blood has certain characteristics that are restrictive when making decisions such as: variable demand per blood component, available number of donors per blood type, compatibility between blood types, donor restrictions, collection methods, storage under certain conditions for each blood component and the useful lifetime per blood component.

The inclusion of these characteristics when making decisions is critical because they directly affect the overcollection or shortage of blood units in a day, which implies an increase in production costs, the unwanted expiration of units and the lack of demand coverage.

In this way, to represent this problem, we obtained three models that support the decision-making of each blood bank in supplying the demand for blood components, obtaining an optimal amount of blood components to be collected in a day under a deterministic demand and a correct management of inventories according to the characteristics that represent each production system.

Additionally, results were validated with instances of different sizes in the planning horizons, showing the efficiency of the basic model (BLSP-B) in terms of computation times and the flexibility and adaptability that the non-continuous test model (BLSP-NCT) manages to represent against the testing process.

After its validation, it was shown that the models presented are the general characteristics of blood management, however, the non-continuous test model (BLSP-NCT) was able to represent the two systems exposed by blood banks, showing its adaptability and flexibility.

**Keywords: Linear programming, Planning, Perishable inventory management, Blood bank**

# Lista de Figuras

2-1. Despliegue operaciones banco de sangre . . . . .	18
7-1. Flujo BLSP-B . . . . .	50
7-2. Flujo BLSP-CT . . . . .	54
7-3. Flujo BLSP-NCT . . . . .	57
7-4. Datos de entrada-Instancia ilustrativa . . . . .	61
7-5. Posible solución a la instancia ilustrativa . . . . .	62
9-1. Demanda glóbulos rojos O+ . . . . .	71
9-2. Demanda plaquetas O+ . . . . .	72
9-3. Demanda plasma O+ . . . . .	72
9-4. Representación capacidades . . . . .	74
9-5. Comparación de F.O entre el caso 2 y el resto de casos. . . . .	75
9-6. Capacidades de inventario ( $Capi_i$ ) por caso. . . . .	76
9-7. Comparación de F.O entre modelos y casos . . . . .	81



---

<b>9-8.</b> Comparación de proceso entre casos . . . . .	81
<b>9-9.</b> Comparación de Tiempos entre modelos y casos . . . . .	82
<b>A-1.</b> Comparación de pérdidas BLSP-B . . . . .	90

# Lista de Tablas

<b>2-1.</b> Caducidad hemocomponentes . . . . .	18
<b>5-1.</b> Resumen investigaciones del estado del arte . . . . .	41
<b>A-1.</b> Resultados Caso 0 . . . . .	91
<b>A-2.</b> Comparación Casos demanda . . . . .	91
<b>A-3.</b> Comparacion Casos Capacidad . . . . .	91
<b>A-4.</b> Comparación Casos almacenamiento de inventario . . . . .	91
<b>A-5.</b> Comparación casos inventario inicial . . . . .	92
<b>A-6.</b> Comparación casos costos . . . . .	93
<b>A-7.</b> Resultados BLSP-B . . . . .	96
<b>A-8.</b> Resultados BLSP-CT . . . . .	99
<b>A-9.</b> Resultados BLSP-NCT . . . . .	100

# Indice General

<b>Resumen</b>	<b>6</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>8</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>10</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>15</b>
<b>2. Planteamiento del Problema</b>	<b>17</b>
<b>3. Justificación y Objetivos</b>	<b>23</b>
3.1. Justificación . . . . .	23
3.2. Objetivo General . . . . .	23
3.3. Objetivos Específicos . . . . .	24
<b>4. Marco Referencial</b>	<b>25</b>
4.1. Marco Conceptual . . . . .	25
4.1.1. Sangre: . . . . .	25

---

4.1.2. Hemocomponentes: . . . . .	26
4.1.3. Banco de Sangre: . . . . .	27
4.1.4. Logística: . . . . .	27
4.2. Marco Legal . . . . .	28
4.2.1. Política Nacional de Sangre (Ministerio de protección social, 2011): .	28
4.2.2. Decreto 1571 de 1993 (República de Colombia, 1993) . . . . .	29
4.2.3. Decreto 616 de 1981 (República de Colombia, 1981) . . . . .	30
4.3. Marco teórico . . . . .	30
4.3.1. Cadena de suministros de la sangre . . . . .	30
4.3.2. Gestión de la sangre en Colombia . . . . .	32
4.3.3. Logística y planeación de operaciones . . . . .	33
4.3.4. Gestión de inventarios . . . . .	34
4.3.5. Dimensionamiento de lotes . . . . .	35
4.3.6. Planeación de ítems perecederos . . . . .	35
<b>5. Estado del arte</b>	<b>37</b>
<b>6. Metodología</b>	<b>45</b>
<b>7. Modelos matemáticos propuestos</b>	<b>47</b>
7.1. Modelo básico de dimensionamiento de lotes de sangre BLSP-B ( <i>Blood Lot sizing Problem- Basic</i> ) . . . . .	48

---

7.2. Modelo dimensionamiento de lotes de sangre con pruebas continuas BLSP-CT ( <i>Blood Lot Sizing Problem -Continuous Test</i> ) . . . . .	53
7.3. Modelo de dimensionamiento de lotes de sangre con pruebas no continuas BLSP-NCT ( <i>Blood Lot Sizing Problem Non-Continuous Test</i> ) . . . . .	56
7.4. Instancia ilustrativa . . . . .	61
<b>8. Experimentos computacionales</b>	<b>65</b>
8.1. Generación de casos . . . . .	67
8.2. Propiedades del entorno experimental . . . . .	69
<b>9. Análisis de los resultados</b>	<b>70</b>
9.1. Comparación de experimentos . . . . .	70
9.1.1. Comparación de demandas . . . . .	71
9.1.2. Comparación entre capacidades: . . . . .	74
9.1.3. Comparación entre capacidad de inventarios . . . . .	76
9.1.4. Comparación Costos . . . . .	77
9.1.5. Comparación entre inventarios iniciales . . . . .	79
9.1.6. Comparación Adaptabilidad y flexibilidad del modelo BLSP-NCT . . . . .	80
<b>10. Conclusiones y trabajos futuros</b>	<b>83</b>
<b>Referencias</b>	<b>86</b>

**A. Tablas y figuras de comparaciones experimentales**

# Capítulo 1

## Introducción

La calidad de vida de las personas se ve influenciada directamente por la gestión de establecimientos llamados bancos de sangre. Tal como menciona Nogueira (2010): “Cuando se mejoran los sistemas de donación de sangre, se mejoran también los sistemas de salud y se mejora la atención a los pacientes”.

Según el Ministerio de salud 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 propósitos asegurar la calidad de la sangre y sus derivados. (Decreto616, 1981, Pág. 1)

En los países latinoamericanos la recolección de la sangre posee una particularidad debido a que es un recurso muy demandado, no obstante, su oferta no alcanza a solventar las necesidades como lo reporta la organización panamericana de la salud (OPS, 2018).

Colombia en particular presenta retos en la gestión de la sangre puesto que según Red Nacional de Sangre que para el año 2019 la demanda de unidades en Colombia era de 920.000, sin embargo, se tiene que un 13,04% de esta no fue abastecida debido a la capacidad de recolección de los establecimientos dedicados a su gestión. En adición, en el informe ejecutivo del comportamiento de la donación de sangre en Colombia 2020 (INS, 2020), se puede evidenciar claramente que hubo una disminución en la comparación de cantidad de donación frente al año anterior.

Si bien, la limitada capacidad de los establecimientos y la falta de cultura de donación en el país han provocado el desabastecimiento del recurso, de la misma forma, los métodos empíricos utilizados hoy en día a la hora de realizar la planeación de la recolección y almacenamiento han influido; es por ello, que se hace necesario que la planeación se realice con metodologías que soporten las decisiones del manejo de la sangre de manera óptima.

Hasta la actualidad se ha encontrado que son escasos los trabajos que realizan una planeación de las operaciones en estos entornos y que además logren representar todos los requerimientos de este problema, es por ello que en este trabajo se buscará representar los sistemas operativos propios de los bancos de sangre, teniendo como caso estudio los bancos de sangre de Montería.



## Capítulo 2

# Planteamiento del Problema

La sangre es un tejido líquido que está compuesto por hemocomponentes, que debido a factores de riesgo que se tienen al utilizar la sangre entera, tales como: reacciones alérgicas, degradación de glóbulos rojos y sobrecarga circulatoria, se debe realizar la separación de estos en: plaquetas, leucocitos, plasma y los eritrocitos.

Cada uno de estos hemocomponentes posee diferentes tiempos de caducidad (ver tabla **2-1**)<sup>1</sup> y atienden a distintas necesidades tales como algunas condiciones médicas, situaciones quirúrgicas de media y alta complejidad, de tal modo que su separación puede abarcar a más pacientes de acuerdo con sus necesidades.

---

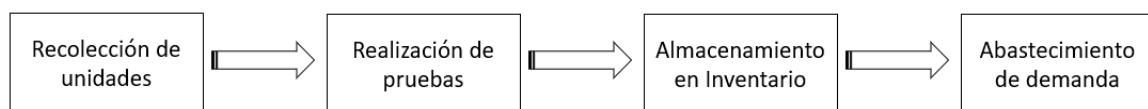
<sup>1</sup>Nota: los tiempos de caducidad dependen de la refrigeración y el tipo de coagulante, las presentadas en la tabla son las obtenidas de las entrevistas de los bancos de sangre

Hemocomponentes $i$	Vida útil en días ( $u_i$ )
Globulos Rojos ('gr')	35
Plaquetas ('plaq')	5
Plasma ('plas')	365

**Tabla 2-1:** Caducidad hemocomponentes

La sangre también posee una clasificación de 4 grupos (A, B, AB, O) y cada grupo de sangre tiene tanto factor RH positivo o RH negativo. Por tal motivo, al problema de planeación se le suma la decisión de determinar la demanda de cada uno de estos hemocomponentes dependiendo de su grupo sanguíneo y el factor RH; pues una mala organización puede ocasionar pérdidas de unidades o escasez a la hora de suplir la demanda.

Los bancos de sangre son los encargados de la gestión de la sangre, desde su recolección, separación de hemocomponentes, hasta la satisfacción de la demanda de los hemocomponentes requeridos como se muestra en la figura 2-1; además es conveniente destacar que los bancos de sangre maneja una política PEPS<sup>2</sup> dado al tratamiento de la perecebilidad mencionado anteriormente.



**Figura 2-1:** Despliegue operaciones banco de sangre

El departamento de Córdoba cuenta con un banco de sangre de carácter privado y uno de carácter público, cada uno con características propias para su sistema de producción. Estos establecimientos son en los que se recolecta, procesa y distribuye la sangre para todo el departamento.

<sup>2</sup>PEPS: primero en entrar primero en salir

Estos bancos de sangre, varias veces en el año, organizan jornadas de recolección que se realizan alrededor de todo Córdoba, no obstante, Montería su capital, es el lugar donde se realizan la mayoría de las transfusiones de sangre y hemocomponentes.

Durante las jornadas, se puede recaer en dos escenarios no deseados los cuales son: escasez y sobrerrecolección. En cuanto al primer escenario, este conlleva a la falta de atención que afecta directamente en la vida de los pacientes, además de una falta de credibilidad en el sistema de salud; el segundo escenario implica el vencimiento indeseado de los hemocomponentes, conduciendo a su incineración y provocando insuficiencias en las próximas jornadas de recolección puesto que los donantes poseen restricciones en el tiempo entre donaciones que no permitirían su disponibilidad cuando sea necesario. En ambos escenarios se incurre en altos costos operativos.

Los bancos de sangre estudiados, para minimizar la escasez, generalmente recolectan las unidades de todos los donantes que se presentan a una jornada, pero deben tenerse en cuenta muchos aspectos para aprovechar correctamente estos hemocomponentes. Los aspectos para tener en cuenta engloban el control del inventario, las cantidades requeridas (demanda) y su disponibilidad según la clasificación de los tipos de sangre, restricciones en los donantes, entre otros.

Después de su recolección, se procede a separar las unidades de sangre, actualmente se usan dos métodos para la extracción y separación de los hemocomponentes las cuales son centrifugación y aféresis; la centrifugación consiste en extraer una unidad entera de sangre y mediante una máquina que ejerce una fuerza de centrifugación separa los diferentes hemocomponentes; y aféresis tiene las mismas características del mencionado anteriormente, con la posibilidad de, habiendo recolectado un solo hemocomponente, retornarle el resto de la sangre al donante.

Estas decisiones de separación de los hemocomponentes van ligadas a parámetros como

el tiempo de caducidad propio de cada hemocomponentes, las condiciones de almacenamiento tales como la temperatura y tipo de empaque, y la demanda del tipo de hemocomponentes.

El costo de separación de las unidades está mayormente diferenciado por la bolsa o kit de recolección, el cual para el proceso de aféresis representa un costo significativamente mayor con respecto al proceso de centrifugación.

Posteriormente al proceso de separación y obtención de los hemocomponentes se deben realizar una serie de pruebas biológicas para determinar la idoneidad de los mismos. El banco de sangre decide si realizar las pruebas inmediatamente después de su obtención o guardar en inventario, el cual no puede ser utilizado hasta la realización de las pruebas, decisión propia del sistema de producción de cada uno.

Esta característica resulta relevante para diferenciar cada sistema de producción de cada banco de sangre puesto que en uno de ellos se realiza las pruebas de manera continua e inmediata a su producción bajo una capacidad ilimitada de pruebas y el otro banco de sangre realiza las pruebas al considerar un lote razonable para el encendido de la máquina manteniendo una relación inversamente proporcional donde a mayor cantidad de unidades procesadas el costo unitario de la prueba será menor.

Debido a que cada uno de sus componentes poseen ciclos de vida variados es importante destacar que el manejo de los residuos de la sangre recolectada y hemocomponentes resulta crítico en una correcta gestión de inventarios. De tal modo que, una mala planificación de la demanda afectará en la atención de esta y existe la posibilidad de descartar mayor unidades dado a su perecibilidad.

Aquellas unidades descartadas o vencidas no pueden ser utilizadas por equivocación y por el riesgo biológico inherente a la sangre, por lo tanto, se requiere pasar por un proceso inmediato de incineración. Incinerar unidades ocasiona pérdidas tanto económicas como del

mismo recurso que podría ser solicitado posteriormente.

En ese sentido es fundamental verificar y controlar el nivel del inventario, para así tomar las decisiones de cuándo debe recoger, y las cantidades necesarias, por tal razón un nivel óptimo de inventario es importante para evitar aumento de costos y excesos de unidades que resultan en descartes indeseados. Así mismo, la falta de unidades y componentes de algún tipo de sangre en un determinado momento estaría implicando escasez en el cubrimiento de la demanda e incluso llegar a determinar la vida de las personas.

También se debe tener en cuenta los distintos tipos de sangre de acuerdo con su grupo sanguíneo y su factor RH obteniendo una clasificación total de 8 grupos que no son compatibles entre todos y que no se encuentran divididos equitativamente en la población, por ejemplo, se conoce que el 85 % de la población mundial posee RH+, y el 15 % restante posee RH-; de tal modo que para la recolección se debe tener presente la compatibilidad, demanda, y probabilidad de obtener ese tipo de sangre.

En cuanto a la demanda los bancos de sangre de estudio tienen determinadas estas cantidades y tiene en cuenta factores estacionales que aumentan la misma, adicionalmente, los bancos de sangre pueden atender demandas de otras instituciones prestadoras de servicios de salud, realizando pruebas a unidades externas.

Por otro lado, mediante las entrevistas realizadas se determinó que dependiendo del control de los bancos de sangre sobre las donaciones se podría determinar la disponibilidad de los donantes frecuentes, sin embargo, generalmente la oferta se comporta de manera estocástica. El equilibrio entre la escasez y la expiración generalmente varía según el tipo de sangre, porque los tipos de sangre raros se utilizan a una tasa menor, pero deben tener un *stock*<sup>3</sup> proporcionalmente más alto que los tipos de sangre ordinarios.

---

<sup>3</sup>*stock*: inventario o unidades en almacenamiento

Los donantes por su parte poseen restricciones de tiempo para volver a realizar una donación por tal motivo la literatura sugiere la clasificación de los donantes de acuerdo con su tipo de sangre, para así recurrir a ellos cuando se tengan picos de demanda que los requieran, cabe resaltar que todo depende del nivel de control que posea el banco en su listado de donantes.

En la literatura existen escasas investigaciones de las aplicaciones de la ingeniería industrial en este tipo de problemas, la mayoría de estas investigaciones recurren la simulación, las cadenas de Márkov y la programación lineal entera mixta. Las autoras Arciniegas y Salazar propusieron un modelo lineal para la planeación de producción de componentes sanguíneos utilizando como caso de estudio el banco de la ciudad de Cali, Colombia. En dicho modelo se decide las cantidades a recolectar y bajo que procesos se va a llevar a cabo la preparación de ciertos productos. Sin embargo, no tienen en cuenta un horizonte de planeación lo suficientemente amplio para incluir las restricciones de almacenamiento o vida útil de los productos, y tampoco tienen en cuenta la probabilidad de ocurrencia y necesidad de los distintos tipos de sangre.

Como se puede observar, la planeación de la producción y niveles de inventario de este tipo de sistemas productivos es un reto es por esto por lo que se plantea la pregunta:

**Pregunta problema:** ¿Como apoyar a la toma de decisiones en las operaciones de los bancos de sangre de la ciudad de Montería de acuerdo a sus características?

# Capítulo 3

## Justificación y Objetivos

### 3.1. Justificación

En vista a la complejidad del problema por las particularidades especiales de la industria de la salud y la búsqueda constante por reducir costos y orientar los esfuerzos en el cubrimiento de la demanda, se decide implementar diferentes conocimientos proporcionados por la ingeniería industrial. El problema se abordará a través de la programación matemática la cual permite: alta flexibilidad, la integración de múltiples variables, consideración de parámetros y la creación de escenarios que permitan realizar debidas comparaciones. Es decir, busca representar el problema de manera realista; que ademas gracias al avance tecnológico se logra en tiempos computacionales eficientes (Noble Ramos, 2017).

### 3.2. Objetivo General

Representar y resolver mediante modelos matemáticos el problema de la planeación de la producción e inventario de componentes sanguíneos en bancos de sangre.

### 3.3. Objetivos Específicos

1. Analizar los procesos de los banco de sangre y sus restricciones con el fin de tener los conocimientos para ajustar la investigación a las necesidades del caso estudio, mediante entrevistas y visitas con la entidad correspondiente.
2. Estudiar las herramientas y métodos existentes para reconocer el método a aplicar en la resolución del problema, a través de la revisión de la literatura.
3. Diseñar y validar un modelo matemático para el abastecimiento de la demanda de componentes sanguíneos teniendo en cuenta las condiciones y características de cada banco de sangre.
4. Contrastar las soluciones obtenidas entre los modelos presentados de los sistemas productivos representados con el fin proponer la solución más adecuada dependiendo de las características propias de cada banco.



# Capítulo 4

## Marco Referencial

### 4.1. Marco Conceptual

#### 4.1.1. Sangre:

La sangre es un tejido líquido que circula por todo el cuerpo humano, teniendo como función principal transportar oxígeno y nutrientes a través de unidades celulares. Estas células se dividen en distintos tipos las cuales son eritrocitos (glóbulos rojos); leucocitos (glóbulos blancos) y trombocitos (plaquetas) y cada uno de estos tienen una función definida. Por consiguiente, la sangre es una mezcla de un medio acuoso llamado plasma donde se encuentran suspendidas estos diferentes tipos de células.

De manera específica y resumida Ávila (2016) divide las funciones de la sangre en funciones celulares las cuales se encargan del transporte de gases, distribución de células de defensa como mecanismo para combatir infecciones, distribución de plaquetas (hemostasia primaria), repartición de células madre y reparación de daño vascular y tisular; por otro lado, están las funciones plasmáticas que son las encargadas del transporte de nutrientes, hormonas, iones, sustancias de desecho, anticuerpos y complemento (inmunidad humoral) y

regulación del medio interno (homeostasia)

### 4.1.2. Hemocomponentes:

La sangre como se mencionaba anteriormente es una mezcla de elementos formes (células sanguíneas) y plasma, a los cuales se les llamará de manera general, hemocomponentes, los cuales se extraen de la sangre entera con diferentes fines terapéuticos.

Estos hemocomponentes poseen la característica de tener diferentes densidades, por tanto, el método más adecuado de separación es el de centrifugado, dejando en la parte superior a los menos densos.

Los elementos formes constituyen alrededor de 45 % del volumen sanguíneo total y el plasma explica el 55 % restante. Los eritrocitos constituyen la mayor parte de los elementos formes; el porcentaje del volumen de eritrocitos respecto al volumen total de sangre en una muestra de sangre centrifugada (medición llamada hematocrito) es de 36 a 46 % en mujeres, y de 41 a 53 % en varones. (Fox, 2013)

En la actualidad se ha reducido en gran medida el uso de la sangre entera, debido a que se pueden abordar mayor número de enfermedades y pacientes de acuerdo a las necesidades y las funciones de cada hemocomponente, sin embargo, como lo menciona Vargas Marín (2011) se debe tener en cuenta los riesgos de no usarlos correctamente como lo son la contaminación bacteriana, la sobrecarga de volumen sanguíneo, entre otras.

### 4.1.3. Banco de Sangre:

Un banco de sangre es aquella institución encargada de gestionar y administrar los procesos relacionados con la sangre, como lo son, la recolección mediante la búsqueda de donantes, desarrollo de las pruebas pertinentes para determinar si es apta, la separación de los hemocomponentes, el almacenamiento y la distribución hacia otras instituciones que lo requieran.

Como lo menciona Stanford Children's Health el almacenamiento de sangre es un proceso que se realiza en un laboratorio para garantizar que la sangre y los productos sanguíneos donados sean seguros antes de ser utilizados para transfusiones de sangre y otros procedimientos médicos, comprendiendo así el dividir la sangre y sus componentes para las transfusiones junto con sus debidas pruebas de tamizaje para detectar la presencia de enfermedades infecciosas.

Escorcia, Abreu y Machado citado por Forero-Matiz (2014, pag.30) plantean que “El uso de la sangre y sus componentes, contribuye a salvar numerosas vidas, pero puede convertirse en un riesgo potencial para la salud, cuando se producen fallas en alguna de las etapas de los procedimientos operativos”

### 4.1.4. Logística:

La logística son todas las actividades, métodos y medios necesarios para transformar una materia prima y hacer llegar el bien o servicio a los consumidores finales, tal como lo fue requerido, a través de una sinergia de información, servicios y recursos. Las actividades logísticas incluyen la planificación de procesos, control, almacenamiento, transporte y distribución de productos.

El objetivo principal de la logística es garantizar el tiempo de entrega, lugar, cantidad re-

querida y la forma de los productos al menor costo, satisfaciendo así al usuario final. Tal como lo afirma Ballou (2004), la logística incluye todas las operaciones que tienen un efecto en hacer que el producto o servicio que se esté ofreciendo esté disponible para el consumidor en el momento y lugar indicado.

La ASLOG (Association des Logisticiens d'Entreprises-Francia) citado por Antún y Alarcón (2014, pág.3) define la logística como: “el conjunto de actividades que tiene por objetivo la colocación, al menos costo, de una cantidad de producto en el lugar y en el tiempo donde una demanda existe”.

## **4.2. Marco Legal**

### **4.2.1. Política Nacional de Sangre (Ministerio de protección social, 2011):**

“Debe contemplar la planificación y organización de los sistemas de sangre, incluyendo la conformación de la red de donación y transfusión y la manera como esta interactúa con la comunidad para su obtención. Estos aspectos deben ser regulados por el Estado, dada la relevancia que para la salud pública y la prestación de servicios tienen, su acceso, equidad, solidaridad y seguridad, ejes fundamentales que guardan coherencia con los lineamientos definidos por la Política Nacional de Sangre diseñada e implementada por el Ministerio de la Protección Social.” (Política Nacional de Sangre, 2011)

Esta política fue formulada para enfrentar el problema de la sangre y sus componentes en nuestro país. Los principios que guían esta estrategia son el acceso y la equidad, la solidaridad y la seguridad.

En este documento se destacan aspectos importantes como el de las estrategias a ejecutar

para fomentar la promoción con el fin de desarrollar una cultura de donación voluntaria que garantice a la población el acceso equitativo y la autosuficiencia de sangre y sus componentes en todo el territorio nacional.

Así mismo, se resaltan varios datos importantes como los de las tarifas de los componentes sanguíneos, demanda y disponibilidad de componentes, porcentaje de bancos de sangre que cumplen en su totalidad con los requisitos para prestar el servicio, entre otros.

#### **4.2.2. Decreto 1571 de 1993 (República de Colombia, 1993)**

“Por el cual se reglamenta parcialmente el 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.” (Decreto 1571, 1993).

Este decreto tiene como fin regular parcialmente el título IX de la Ley No. 09 de 1979, relativa al funcionamiento de las instituciones especializadas en la extracción, procesamiento, conservación y transporte de sangre total o hemoderivados.

Cabe destacar que, en este decreto, específicamente en el Artículo °4, se establece que la sangre humana solo podrá ser extraída y utilizada para cualquier fin sin ánimo de lucro; por ende, solo podrá hacerse este procedimiento en instituciones médico - asistenciales, servicios de medicina transfusiones y bancos de sangre que hayan obtenido Licencia Sanitaria de Funcionamiento.

Entre otros de los aspectos importantes de este decreto se tiene la prohibición a la exportación de sangre total o de sus componentes, con excepción de ocurrir una grave calamidad pública o atendiendo motivos de seguridad nacional, lo anterior solo será posible si se han atendido primeramente las necesidades nacionales.

### **4.2.3. Decreto 616 de 1981 (República de Colombia, 1981)**

“... por el cual se reglamenta parcialmente el Título IX de la Ley 9a de 1979, en cuanto a funcionamiento de establecimientos dedicados a la extracción, transfusión y conservación de sangre total o de sus fraccionados.” (Decreto 616, 1981)

El título IX del Decreto No. 9 de 1979 regula el funcionamiento de los establecimientos dedicados a la extracción, transfusión y conservación de sangre total o su sangre separada.

Se destacan aspectos de este decreto como lo son las obligaciones, prohibiciones y deberes que deben tener en cuenta los bancos de sangre como requisitos para realizar sus diferentes procesos.

Por otro lado, se manifiesta la existencia de un Comité de transfusión sanguínea en cada centro hospitalario, este estará integrado por cuatro personas de diversas posiciones tanto administrativas como operativas en el centro de salud y, será su tarea llevar a cabo las funciones que impone el decreto con el fin de mantener, vigilar y controlar todo lo relacionado con la sangre en su institución.

## **4.3. Marco teórico**

### **4.3.1. Cadena de suministros de la sangre**

La gestión de la cadena de suministro cubre todas las actividades relacionadas con el flujo y conversión de bienes desde la materia prima (extracción) hasta el usuario final y el flujo de información relacionado el cual fluye de arriba hacia abajo y viceversa.

Existen varios niveles en la cadena de suministro, entre cada uno de estos debe existir una correcta comunicación pues esto afectará directamente a la efectividad de sus resultados, debido a que se tiene que tener en cuenta las necesidades e intereses de las partes involucradas para una debida de gestión del insumo que se esté manejando, para no incurrir en desperdicios y/o faltantes; esto debe ser aplicado para todos los hemocomponentes, tal como lo afirma Mesa Martín y cols.: “ ... Es fundamental conocer la cadena de suministro de plaquetas entera, para saber lo importante que es conseguir implementar no solo el problema de emparejar las entradas (donaciones) con las salidas (uso de las mismas), sino todas las partes implicadas (como bien apunta las teorías de las restricciones) para así tener una mayor eficiencia y que se produzcan el menor número de roturas (caducidad de las plaquetas, descartes de unidades por un mal uso durante la cadena, etc.)”. Mesa Martín y cols. (2017, pág.25)

La cadena de suministro ha sido muy estudiada y aplicada en todos los sistemas productivos. Sin embargo, en los sistemas de salud no ha tenido la suficiente atención por parte de investigadores debido a que es un área externa a estos, Muriel, Brailsford, y Smith (2014) le atribuyen lo anterior debido a que este sector es gestionado principalmente por personas pertenecientes a la salud, lo que significa que muchos métodos exitosos de toma de decisiones en otras áreas del conocimiento aún no se han aplicado.

También mencionan que la cadena de suministro de sangre ha atraído la atención de investigadores y especialistas en toma de decisiones, principalmente en el área del inventario. Sin embargo, en otras áreas (recolección y producción) hay poca exploración.

### 4.3.2. Gestión de la sangre en Colombia

En Colombia se reguló inicialmente en el año 1981 el funcionamiento de establecimientos dedicados a la extracción, transfusión y conservación de sangre total o de sus fraccionados a través del Decreto 616.

Posteriormente, en 1993, se creó una entidad sin ánimo de lucro llamada “Red Nacional de Bancos de sangre y servicios de transfusión” que se dedica a integrar las Coordinaciones Departamentales, Bancos de Sangre y Servicios de Transfusión del territorio nacional, con el fin de asegurar calidad y seguridad desde la obtención de la sangre hasta su disposición final.

Tres años después, el Instituto Nacional de Salud en conjunto con el Laboratorio Nacional de Referencia y su Coordinación Nacional de Bancos de Sangre creó un PEEDD-IS<sup>1</sup> para evaluar las prácticas de tamizaje serológico en los bancos de sangre.

Para llevar a cabo la política de calidad y seguridad, ofrecen servicios tales como: la supervisión, vigilancia, asesoría y evaluación de los bancos afiliados a esta red nacional.

La red nacional de bancos de sangre cuenta con 101 establecimientos ubicados en 25 ciudades capitales de distintos departamentos. Solo en 26 establecimientos, es decir, el 25,8 % de los bancos de sangre se recolecta el 66 % de la sangre del país, siendo Antioquia y Bogotá los departamentos que cuentan con el mayor número de estos establecimientos. El resto, 34 % de la sangre recolectada, se distribuye entre el 74,2 % de los demás establecimientos en Colombia.

La recolección de la sangre, según la política nacional de sangre debe contar con unos requisitos mínimos para garantizar la trazabilidad del proceso. La sangre podrá ser recolectada tanto en el establecimiento como en los lugares que se hayan autorizado y planeado para

---

<sup>1</sup>PEEDD-IS: Programa de Evaluación Externa de Desempeño Directa En Inmunoserología para bancos de Sangre



realizar las jornadas de recolección, mientras que se cumplan con las condiciones necesarias para llevar a cabo el proceso de la obtención de la sangre, almacenamiento y transporte.

### **4.3.3. Logística y planeación de operaciones**

En los sistemas productivos se debe tener en cuenta un concepto fundamental, tal y como es la logística debido a que esta nos permite conocer cómo se debe manejar todos los elementos que componen este sistema.

Se tiende a confundir el termino de logística con cadena de suministro, sin embargo, la logística es un proceso que hace parte de ella. Esta última es la encargada de planear y controlar el flujo eficiente de los bienes o servicios e información desde el primer nivel de la cadena de suministro hasta el cliente.

Hasta el 2003 se reconoce que el flujo no solo es hacia el consumidor final sino también que existe una retroalimentación hacia atrás, es decir, desde el cliente hacia la organización.

Del mismo modo, la planeación es un concepto que se encuentra contenido en la logística, sin embargo, es importante debido a que es el primer paso que muestra lo que se debe hacer para obtener una buena gestión de la cadena de suministro.

Leal Clavijo y Puentes Rincón (2011) define la planeación como: “La planeación hace alusión a los objetivos, políticas y normas en la cual determinan la utilización lógica de los recursos disponibles de la organización empresarial, mediante el fin de cumplir con la misión y visión de la organización”.

Como se mencionaba anteriormente, la planeación hace una proyección a lo que se quiere lograr por tal motivo debe tener en cuenta muchos factores. Dentro de las decisiones

en la planeación Leal Clavijo y Puentes Rincón proponen que en el desarrollo de un plan de producción es importante tener presente lograr un balance entre los costos (manejo de inventario, faltantes, fabricación, contrataciones y despidos, entre otros) que involucren el desarrollo de la actividad productora.

Finalmente, después de reconocer los factores que afectarán los objetivos que se quieren lograr se tiene una visión de cómo se deben controlar, y se plantean estrategias.

#### **4.3.4. Gestión de inventarios**

El inventario es aquella información detallada de los bienes con los que cuenta una empresa, sin embargo, el objetivo del inventario cambia de acuerdo con el bien que se esté manejando, por tal motivo se debe controlar adecuadamente; en sí tener y mantener un inventario es una decisión que toman las empresas bajo ciertos parámetros, los cuales menciona Rodríguez (2004) como lo son: la disponibilidad de materiales, la eficiencia de la entrega, los costos involucrados, la calidad y las relaciones con los proveedores, la cual debe ser aprovechada al máximo porque puede proporcionar una ventaja competitiva.

Como se mencionaba anteriormente, el inventario y su comportamiento dependerán del insumo que se maneje; la sangre al tratarse de un producto perecedero, con ciclos de vida cortos, añade dificultad en la toma de decisiones sobre el mismo, así como lo menciona Mesa Martín y cols. (2017): el Hospital Best Practice plantea la gestión del inventario de sangre como un equilibrio entre la escasez y el desperdicio. El desafío es mantener suficientes existencias para asegurar un suministro del 100 % de sangre mientras se mantienen las pérdidas de vencimiento en el tiempo como mínimo.

### 4.3.5. Dimensionamiento de lotes

Para una correcta programación y control de inventarios es necesario tener en cuenta los conceptos de dimensionamiento, secuenciación y programación de lotes; en cuanto al dimensionamiento se refiere a las cantidades a producir del insumo en cada lote, basándose en la demanda, capacidad, materia prima, entre otros.

Albornoz, Bohn, y de la Maza afirman que, mediante la ayuda de un software, dada una demanda y unos costos conocidos, un modelo de dimensionamiento de lotes tendrá como resultado niveles de producción óptimos para múltiples periodos. Este problema es conocido en la literatura como CLSP (*Capacitated Lot Sizing Problem*).

El dimensionamiento es aplicado tanto a la producción de un solo producto, como para varios, sin embargo, dependerá del problema y de la relación que posean los productos para hacer una correcta programación del mismo; para items independientes, el dimensionamiento puede ser realizado para cada uno separadamente.

### 4.3.6. Planeación de ítems perecederos

La planeación de la producción es un concepto complejo debido a que se debe tener en cuenta muchas variables, sin embargo, cuando los productos son perecederos, es decir, poseen un límite de tiempo, se debe tener mucho cuidado en no caer en los extremos de sobreproducción y desperdicios de productos que se echan a perder.

Al complejizar el problema de la planeación de la producción, se hace fundamental el uso de herramientas que ayuden a la toma de decisiones como lo son el tamaño de lote y su programación de producción durante un periodo de tiempo determinado.

Otra manera de las que se apoyan las empresas para la planeación de producción de este tipo de productos es mediante técnicas estadísticas de pronósticos tales como menciona en su revisión bibliográfica Juárez, Zuñiga, Flores, y Partida (2016): Al respecto, Gutiérrez y Vidal (2008) mencionan que los sistemas tradicionales de control de inventarios utilizan técnicas como la suavización exponencial para pronosticar la demanda de productos de alta rotación como los productos perecederos. Por su parte, Gallego y Toktay (2003) pronostican las demandas estacionarias de productos de alta rotación mediante el uso de pronósticos dinámicos, mientras que Vidal, Londoño y Contreras (2004) utilizan las técnicas de pronósticos en diversas operaciones de industrias locales de productos perecederos.

En esta investigación estudiaremos la planeación de la producción y niveles de inventario para los hemocomponentes teniendo en cuenta su perecibilidad. Para esto es necesario indagar acerca de la gestión de la sangre que se ha venido llevando a cabo en Colombia, la cual regula ciertos parámetros a la hora de la recolección y almacenamiento de esta.

Si bien existe teoría y conceptos realizados sobre el manejo de la sangre se cree que hay una oportunidad de estudio dado que, conforme a la revisión literaria, la perecibilidad siempre se deja a un lado debido a su relativa complejidad. Por las razones expuestas, en este proyecto se abordarán temas relevantes para el estudio como lo son la gestión de inventarios con ítems perecederos, de gran utilidad para este caso.

# Capítulo 5

## Estado del arte

Para la presente investigación se realizó una indagación en diferentes buscadores académicos donde se pretendía obtener resultados de trabajos académicos a fines con el objetivo de esta propuesta. Cabe resaltar que la búsqueda se realizó en dos idiomas (inglés y español); posteriormente se filtraron de acuerdo a la relación al tema estudiado.

Después de realizar la búsqueda y la filtración, se encontraron cuatro artículos obtenidos como resultados de otros trabajos que planteaban un mismo problema, pero proponían distintas metodologías. No obstante, para los fines de esta investigación estos trabajos no presentan similitudes a nivel metodológico y por lo tanto, no fueron contrastados para el propósito del estado del arte presentado.

Como primer resultado Duan y Liao (2014) propuso un marco de optimización mediante simulación para la gestión del inventario de la cadena de suministro de sangre con compatibilidad de grupo sanguíneo, minimizando la tasa esperada de desactualización del sistema por debajo de un nivel de escasez máximo permitido predeterminado. El marco de simulación propuesto por Duan y Liao (2014) incorpora un nuevo algoritmo de optimización metaheurística para identificar políticas de inventario casi óptimas en un tiempo computacional razonablemente aceptable. Al ser desarrollado a través de un modelo de simulación,

se consideraron todos los aspectos que tuvieron en cuenta para realizar el modelo pues resultan un gran aporte teórico al planteamiento del problema.

Como segundo resultado se tienen a los autores Lowalekar y Ravi (2017) quienes presentan un modelo matemático robusto para el problema integrado de producción, inventario y enrutamiento de bienes perecederos inciertos en una red que incluye un productor y un grupo de minoristas en el que la transferencia entre minoristas es para controlar la incertidumbre de las demandas de los clientes. Este trabajo se enfoca en la distribución de este producto perecedero, dejando de lado el objetivo que se busca en esta propuesta de investigación, sin embargo, se tendrán en cuenta los planteamientos realizados en cuanto a la producción y manejo del inventario.

En el tercer resultado aparece Haijema (2014) el cual integra la filosofía FIFO y a diferencia de los autores anteriormente mencionados, propone una solución mediante la programación dinámica de Markov y simulación.

Por último, Salcedo Moncada, Ramírez Fernández, Arboleda Zúñiga, y cols. (2017) tienen en cuenta el comportamiento de la demanda de los glóbulos rojos, la cual será estimada a través de entidades prestadoras del servicio de salud en el Valle del Cauca, Colombia y con pruebas de bondad de ajuste identifica el tipo de distribución que presenta la demanda, para así posteriormente elaborar los pronósticos más adecuados para cada tipo de grupo sanguíneo.

Por otro lado, dentro de los resultados con misma metodología que esta investigación se encontraron un total de diez trabajos. Estos trabajos se muestran resumidamente en la tabla **5-1**, donde se consideraron la inclusión de los parámetros y restricciones propias de la sangre con el fin de contrastar aquellas investigaciones que poseen mayor similitud a lo que se busca en esta propuesta. Se tuvieron en cuenta las siguientes decisiones integradas en cada uno de los modelos donde la  $\times$  representa que poseen esa característica: Multiperiodo (MP), Perecibilidad por hemocomponentes (PHC), Regulación de inventario (RI), proce-

so de extracción (PRO), pruebas biológicas (PRU), Costos(C), Tipo de Demanda y oferta:  
Determinística (DET) o Estocástica (EST), y si se realizó validación a los datos (VR):

Autor	Parámetros considerados						Función Objetivo		Oferta		Demanda		Metodología	VR	
	MP	PHC	RI	PRO	PRU	C	MIN	MAX	DET	EST	DET	EST			
Pegels (2007)			×				Frecuencia de escasez			×		×	Análisis estadístico de la programación de inventarios en los bancos de sangre	No	
P. Amorim, H.-O. Günther and B. Almada-Lobo (2012)	×	Productos en general	×			×	Costos	Vida útil de los productos perecederos		×		×	Modelo de programación Lineal multiobjetivo para la producción y distribución de productos perecederos	Si	
Arciniegas y Salazar (2012)			×			×	Costos			×		×	Modelo de programación lineal entera	Si	
Saracoglu, Topaloglu y Keskindur (2014)	×	×						Ganancias				×	Algoritmo genético para el modelo de inventario multiproducto y multiperiodo	Si	
Duan, Qinglin and Liao, T. Warren (2014)							No aplica						Algoritmo de optimización metaheurística	Si	
Haijema, R. (2014)		Solo plaquetas	×			×	Costos			×		×	Enfoque combinado de programación dinámica de Markov (MDP) y simulación	No	
Gunpinar y Centeno(2015)		Plaquetas y globulos rojos	×			×	Escasez, desperdicios y costos			×		×	Modelos de programación entera	Si	
Duong, Wood y Wang(2015)	×	×	×				Indice de variación de pedido, promedio de inventario	Tasa de cumplimiento			×		×	Modelo multi-criterio	No
Dillon, Oliveira y Abbasi (2017)	×		×			×	Costos				×		×	Modelo de programación estocástica de dos etapas para control del inventario en bancos de sangre	Si
Lowalekar, Harshal and Ravi, R Raghavendra (2017)							No aplica						Modelo de programación lineal enfocado a la distribución de productos perecederos	No	
Arboleda, Jairo (2017)							No aplica						Revision literaria	No	
Arboleda, Jairo (2018)	×	Solo globulos rojos	×			×	Penalizaciones				×	×	Modelo de programación de la producción y control de inventarios de globulos rojos	Si	
Alkhaja,Chadly, Almarzooqi y Fikri (2020)	×	Unidad completa	×			×	Costos y perdidas			×		×	Modelo de programación lineal	Si	
Esta investigación	×	×	×	×	×	×	Costos y perdidas			×		×	Modelo de programación lineal entera	Si	

**Tabla 5-1:** Resumen investigaciones del estado del arte



A partir de la tabla se pudo realizar un análisis comparativo en el que se puede notar que en los últimos años no se han realizado muchas investigaciones con respecto al área de planeación y programación del sistema de inventarios en los bancos de sangre, esto se puede deber a que se deben tener en cuenta muchos factores para la toma de decisiones; por tal motivo, los autores presentados anteriormente se enfocan en algunos de estos.

Inicialmente tenemos a Pegels (2005) el cual solo se basa en proponer seis tipos de restricciones para modelos basándose en una probabilidad estimada de ocurrencia de los distintos tipos de sangre. Por otro lado, está Arciniegas y Salazar (2012) las cuales proponen un modelo para la planeación de la recolección de la sangre dependiendo de una demanda determinista, sin embargo, no planean un horizonte lo suficientemente amplio para tener en cuenta los tiempos de vida útiles de cada hemocomponente, y además no tienen en cuenta las restricciones propuestas anteriormente por Pegels.

Dándole solución al corto horizonte de planeación aparecen Saracoglu, Topaloglu, y Keskinurk (2014) los cuales proponen un modelo multiperiodos, que también da solución a la cantidad optima necesaria para múltiples productos. Primero, el problema se modela como un modelo de programación lineal entera. Y luego le dan un enfoque de solución de algoritmo genético.

Solo hasta el 2015 Gunpinar y Centeno (2015) y Centeno atienden lo propuesto por Pegels, integran en el modelo de programación lineal las tasas de demanda incierta, obteniendo muy buenos resultados con respecto a los costos y la disminución de los desperdicios. Del mismo modo Duong, Wood, y Wang (2015) mantienen las características propuestas por los anteriores autores, sin embargo, lo resuelven bajo un enfoque de modelo multi-criterio.<sup>1</sup>

Posteriormente Dillon, Oliveira, y Abbasi (2017) dan solución al problema de gestión de inventarios, teniendo en cuenta los costos operativos, la escasez, el desperdicio de sangre

---

<sup>1</sup>Enfoque que permite evaluar el desempeño del problema bajo objetivos determinados

debido a la perecibilidad y la incertidumbre de la demanda; dándole solución con una propuesta de modelo de programación estocástica de dos etapas. Sin embargo, no tienen en cuenta la perecibilidad para cada uno de los componentes sanguíneos.

Arboleda Zúñiga (2017) realizan una revisión bibliográfica de los estudios que se han llevado a cabo de los modelos matemáticos más importantes para el control de inventarios de banco de sangre, resaltando e incluyendo las características de la sangre en general mostrando las diversas metodologías con las que se puede atacar este problema.

Arboleda Zuñiga, Ramírez Fernández, Salcedo, y cols. (2018) a partir del estudio del pronóstico de la demanda de glóbulos rojos realizado por el autor en el año 2017 desarrolla un modelo matemático para la planeación y control de inventarios de este hemocomponente en particular, aplicado al caso estudio de un banco de sangre en Santiago de Cali.

Finalmente Alkhaja, Chadly, Almarzooqi, y Fikri (2020) realizan un modelo de programación lineal que tiene como objetivo la minimización de costos y el número de unidades perdidas, considerando su vida útil a través de un manejo óptimo de inventario.

Adicional a los trabajos anteriormente descritos, vale la pena resaltar el trabajo de Amorim, Günther, y Almada-Lobo (2012), donde discuten la importancia de integrar el análisis para un problema de planificación de la producción y distribución que trata con productos perecederos. Además formulan dos modelos para los casos en el que los productos perecederos tienen una vida útil fija y vida útil variable, es decir, con y sin fecha de consumo preferente; teniendo como resultado modelos multiproducto, multiplanta, multicentro de distribución y multiperiodo.

Del trabajo realizado por Amorim y cols. se tienen en cuenta puntos importantes a tratar en esta investigación, tales como la división del horizonte de planeación en micro-periodos para mantener la trazabilidad de los inventarios y el control de esta trazabilidad con items

perecederos de vida útil fija.

Como se ha podido evidenciar existe una complejidad a la hora de abordar todas las características que conlleva la sangre, de manera que no todos los trabajos incluyen todas estas. Así este trabajo propone modelo matemático aplicable a la programación lineal entera mixta, donde se utilizan estructuras inspiradas en el modelo de Amorim y cols. (2012) y se integraron al desarrollado por Arciniegas y Salazar (2012) el cual solo optimiza las decisiones de producción para un horizonte de 5 días; es aquí donde las restricciones de vida útil de los productos resultan relevantes en esta investigación con horizontes de planeación mayores que permiten observar como la perecibilidad afecta en la toma de decisiones.

Del mismo modo, se desea complementar el modelo propuesto por Arboleda Zuñiga y cols. al incluir el resto de los hemocomponentes (plaquetas y plasma) y los diferentes procesos por los cuales se pueden separar (centrifugación y aféresis).

Por otro lado, a pesar de que las pruebas biológicas son un proceso de carácter obligatorio, no ha sido tomada en cuenta en los modelos propuestos para el caso específico de la sangre, característica que se considera importante para entender el sistema que implica el manejo de la misma. Además se considera para este caso la atención a demanda de pruebas externas procedentes de instituciones que requieren este servicio.

# Capítulo 6

## Metodología

Este trabajo se realizó mediante una investigación empírica dado que pretende estudiar el proceso de producción y planeación de inventarios de los hemocomponentes de un banco de sangre; el análisis de sus sistemas de producción y recolección de datos estuvo basada en la obtención de evidencia verificable en estos bancos y la observación directa.

De modo que (Miller, Curwen, White-Smith, y Calfee, 2015) describe la investigación empírica como un “enfoque sistemático para responder a ciertos tipos de preguntas”. Preguntas que son resultados a través de la recopilación de evidencia bajo condiciones cuidadosamente definidas y replicables”.

En este trabajo desea determinar la cantidad óptima de recolección e inventario de cada uno de los componentes sanguíneos. La metodología que se siguió se lista en las siguientes etapas a continuación:

Como primer paso, se indagó acerca de las características de la sangre que hace de este problema un reto en la trazabilidad de esta, de igual forma se tuvo conocimiento del manejo y gestión de la sangre según las políticas establecidas en cada banco de sangre.

Con el fin de visualizar el proceso productivo de los bancos de sangre, se realizaron visitas y entrevistas a las dos instituciones que prestan este servicio en el departamento de Córdoba, en su sede principal ubicada en la ciudad de Montería, observando y determinando los criterios utilizados en sus procesos con el propósito de encontrar una mejora a estos.

Posteriormente, se realizó una revisión de la literatura donde se procura la obtención de resultados de trabajos académicos a fines con el objetivo de esta propuesta, examinando así las metodologías existentes, analizando y determinando los requisitos propios de la sangre no abarcados por estas.

Luego de las visitas, entrevistas y revisión del estado del arte fueron propuestos tres modelos matemáticos que representen las condiciones establecidas por los bancos de sangre, con el fin de apoyar las decisiones de gestión de inventarios y el abastecimiento de la demanda de componentes sanguíneos dependiendo el sistema de producción.

Se continuó con la validación de los datos la cual se realizó utilizando instancias de pequeño porte como será descrito posteriormente en el capítulo 8.

Seguidamente se realizaron comparaciones entre distintos casos generados en la sección 8.1 teniendo en cuenta situaciones posibles aplicadas a la realidad con el objetivo de analizar el comportamiento de los modelos y observar que sus soluciones se ajusten a las condiciones de los bancos de sangre.

Finalmente se analizaron los resultados obtenidos de las comparaciones y se llegaron a conclusiones referentes a las características de cada banco de sangre.

# Capítulo 7

## Modelos matemáticos propuestos

Mediante las visitas realizadas a los bancos de sangre se pudo evidenciar dos tipos de sistemas productivos, se determinó que la principal diferencia entre estos consiste en que el proceso de pruebas se realiza en distintos tiempos. El primer sistema propone que las pruebas biológicas<sup>1</sup> se realicen de manera inmediata a su producción con el fin de tener unidades examinadas listas para satisfacer la demanda.

El otro sistema propone mantener un inventario no examinado al que no se le han realizado pruebas con el fin de tener el lote adecuado para encender la máquina.

A continuación, se presentarán los tres modelos propuestos, en el cual serán representados los dos tipos de sistemas de producción y un modelo básico que representa a los sistemas con productos perecederos como la industria farmacéutica y de alimentos.

---

<sup>1</sup>Nota: las pruebas biológicas serán llamadas en adelante solo como "pruebas"

## 7.1. Modelo básico de dimensionamiento de lotes de sangre BLSP-B (*Blood Lot sizing Problem- Basic*)

En el este modelo solo se consideró debida gestión de inventario para productos perecederos teniendo en cuenta las vidas útiles de diferentes productos, minimizando las pérdidas de los productos vencidos y los costos asociados al proceso.

### 1. Conjuntos

- $I$ : = Conjunto de hemocomponentes (Glóbulos rojos, plasma y plaquetas).
- $P$ : = Conjunto de procesos (Centrifugación, aféresis).
- $T$ : = Conjunto de periodos (semanas).
- $M$ : = Conjunto de microperiodos(días).
- $TS$ : = Tipo de sangre (A+, B+, O+, AB+, A-, B-,O-, AB-).

### 2. Conjuntos indexados

- $M_t$ : = Subconjunto de microperiodos que pertenecen al periodo  $t$  (días).
- $M_i^0$  : = Conjunto de microperíodos al inicio del horizonte de planeación para los cuales podría existir inventario vigente del producto  $i$ .

### 3. Parámetros

- $U_i$ : = Tiempo de vida útil por hemocomponente  $i$  (días).
- $D_{tij}$ : = Demanda de cada hemocomponente  $i$  en el periodo  $t$ (unidades) del tipo de sangre  $j$ .
- $Cap_p$ : = Capacidad de los procesos de producción  $p$ .
- $Cap_i$ : = Capacidad de cantidad de unidades por hemocomponente  $i$  que se pueden almacenar.

- $I_{\tau'ij}^{0+}$ : = Inventario del hemocomponente  $i$  al inicio del horizonte de planeación que fue producido en el microperiodo  $\tau'$  del tipo de sangre  $j$ .
- $Cq_p$ : = Costo de producir por el proceso  $p$ .
- $Cs_i$ : = Costo de perder una unidad del hemocomponente  $i$ .
- $CI_i$ : = Costo de almacenar una unidad del hemocomponente  $i$  en inventario.

#### 4. Variables de decisión

- $W_{ij\tau}$ : = Demanda a cumplir del hemocomponente  $i$  a satisfacer en el microperiodo  $\tau$  del tipo de sangre  $j$ .
- $Q_{ij\tau p}$ : = Cantidad separada en el microperiodo  $\tau$  del hemocomponente  $i$ , del tipo de sangre  $j$  usando el proceso  $p$ .
- $I_{ij\tau\tau}^+$ : = Inventario del hemocomponente  $i$  que siendo producido en  $\tau'$  existe al inicio del microperiodo  $\tau$  del tipo de sangre  $j$ .
- $R_{ij\tau'\tau}^I$ : = Cantidad del hemocomponente  $i$  del inventario que siendo producida en el microperiodo  $\tau'$  se va a utilizar en el microperiodo  $\tau$  del tipo de sangre  $j$ .
- $R_{ij\tau}^Q$ : = Cantidad que se va a utilizar del inventario del hemocomponente  $i$  que fue producida en el microperiodo  $\tau$  del tipo de sangre  $j$ .
- $I_{ij\tau'}^F$ : = Inventario restante al final del horizonte de planeación del hemocomponente  $i$  producido en el microperiodo  $\tau$  del tipo de sangre  $j$ .
- $S_{ij\tau}$ : = Cantidad del hemocomponente  $i$  que se echa a perder en el microperiodo  $\tau$  del tipo de sangre  $j$ .

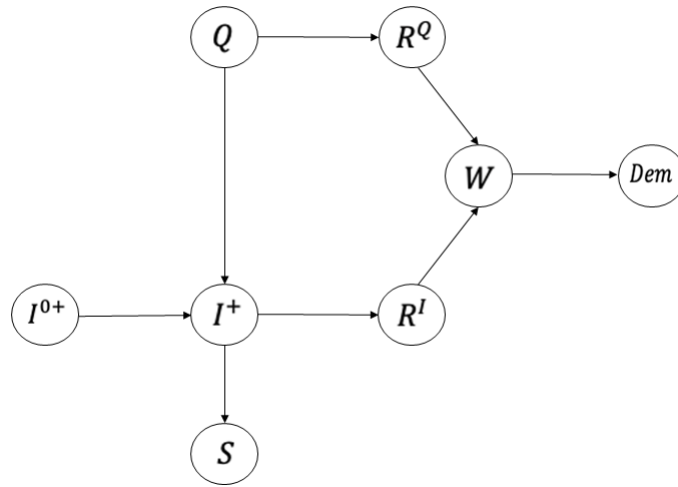
#### 5. Función Objetivo

$$\text{Minimizar} = \sum_{i \in I} \sum_{j \in TS} \sum_{\tau' \in M} \sum_{\tau \in M} ((Cs_i \times S_{ij\tau}) + (CI_i \times I_{ij\tau'\tau}^+)) + \sum_{p \in P} Cq_p \times Q_{\tau ij p} \quad (7-1)$$



## 6. Restricciones

- a) **Balances:** Para el balance de este modelo se tuvo en cuenta los siguientes balances observados en la figura 7-1 y descritos a continuación en las restricciones 7-2, 7-3, 7-4, 7-5, 7-6, 7-7, 7-8 y 7-9.



**Figura 7-1:** Flujo BLSP-B

- **Balance inicial:** Para el primer micro periodo se tienen en cuenta inventarios del horizonte de planeación anterior que podrán seguir en el inventario y que podrán ser utilizadas en ese micro periodo.

$$I_{\tau'ij}^{0+} = I_{ij\tau'1}^+ + R_{ij\tau'1}^I \quad \forall \tau' \in M_0, \quad i \in I, \quad j \in TS \quad (7-2)$$

- **Balance de producción:** Las unidades a producir en el micro periodo pueden ser utilizadas para mantenerse en inventario o para ser utilizada.

$$\sum_{p \in P} Q_{ij\tau p} = I_{ij\tau\tau}^+ + R_{ij\tau}^Q \quad \forall t \geq 1, \tau \in M_t, i \in I, j \in TS \quad (7-3)$$

- **Balance trazabilidad:** El inventario que se mantiene al día de hoy de periodos pasados que pueden seguir siendo utilizados serán distribuidos entre el inventario del siguiente micro periodo y lo que saldrá del inventario.

$$I_{ij\tau'\tau}^+ = I_{ij\tau'(\tau+1)}^+ + R_{ij\tau'\tau}^I \quad (7-4)$$

$$\forall t \geq 1, \tau' \in M_t, i \in I, \tau \in \{\tau' + 1, \tau' + U_i + 1\}, j \in TS.$$

$$I_{ij\tau'|M_t|}^+ = I_{ij|M_t|}^F \quad (7-5)$$

- **Balance cumplimiento de la demanda:** Cantidad de unidades extraídas del inventario tanto actual como de micro periodos pasados según la vida útil del hemocomponente que puedan satisfacer la demanda del mismo micro periodo.

$$\sum_{\tau' \in M} R_{ij\tau'\tau}^I + R_{ij\tau}^Q = W_{\tau ij} \quad (7-6)$$

$$\forall t \geq 1, \tau \in M_t, i \in I, j \in TS \quad \parallel (\tau' \geq (\tau - u_i)) \wedge (\tau' \leq \tau)$$

b) **Cantidad de hemocomponente a echar a perder:**

- **Perder inicial:** Las unidades de hemocomponentes del inventario inicial que no alcancen a ser utilizadas y que sobrepasen su vida útil, se considerarán como perdida y tendrán que ser descartadas.

$$S_{ij1} = I_{(ij\tau-U_i)\tau}^+ \quad \forall \tau \in M \parallel \tau = 1, i \in I, j \in TS \quad (7-7)$$

- **Perder total:** Las unidades del inventario que sobrepasen su vida útil, se consideran como perdidas.

$$S_{\tau ij} = I_{ij(\tau-U_i)\tau}^+ \quad \forall \tau \in M, i \in I, j \in TS \quad (7-8)$$

c) **Satisfacción de la demanda:**

- **Demanda:** La demanda de los micro periodos de un periodo cumplirán la demanda total del mismo.

$$\sum_{\tau \in M_t} W_{ij\tau} = D_{tij} \quad \forall t \in T, i \in I, j \in TS \quad (7-9)$$

d) **Hemocomponentes derivados del proceso de centrifugado:**

- **Componentes:** Para el proceso de centrifugación se tiene que satisfacer que al producir un nuevo hemocomponente será producida la misma cantidad de los otros.

$$Q_{i'j\tau 1} \geq Q_{i\tau 1j} \quad \forall \tau \in M, \quad i \in I, \quad i' \in I, \quad p = 1, \quad j \in TS, \quad i' \neq i \quad (7-10)$$

e) **Capacidad de proceso:**

- **Producción:** Se debe cumplir la capacidad diaria de los procesos de separación de hemocomponentes.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in TS} Q_{ij\tau p} \leq Cap_p \quad \forall \tau \in M, \quad p \in P \quad \parallel \tau \geq 1 \quad (7-11)$$

- **Inventarios:** Se debe cumplir la capacidad diaria instalada para el almacenamiento.

$$\sum_{i \in I} \sum_{\tau \in M_t} I_{ij\tau'\tau}^+ \leq Cap_i \quad \forall i \in I, \quad \tau \in M \quad \parallel (\tau' \geq (\tau - u_i)) \wedge (\tau' \leq \tau) \quad (7-12)$$

f) **Dominio de variables:**

$$W_{ij\tau}, \quad Q_{\tau ij p}, \quad I_{\tau'\tau ij}^+, \quad R_{\tau'\tau ij}^I, \quad R_{\tau ij}^Q, \quad I_{\tau' ij}^F, \quad S_{ij\tau} \geq 0 \quad (7-13)$$

## 7.2. Modelo dimensionamiento de lotes de sangre con pruebas continuas BLSP-CT (*Blood Lot Sizing Problem -Continuous Test*)

Para el tratamiento de las pruebas continuas se tiene en cuenta un costo asociado, y una capacidad semanal, del mismo modo, como se había mencionado anteriormente se agrega un parámetro, con el fin de cumplir una demanda externa conocida. En cuanto a los conjuntos, se utilizan los mismos del modelo básico.

1. **Parámetros:** se le adicionan al modelo básico

- $Capru$ : = Capacidad de cantidad de unidades a los que se les puede hacer prueba semanalmente.
- $Cp$ : = Costo de encender la máquina de pruebas.
- $L$ : = Lote mínimo de pruebas.
- $Ex_{\tau ij}$ : = Demanda de pruebas a realizar en un periodo  $\tau$  por solicitudes externas del hemocomponente  $i$  del tipo de sangre  $j$ .

2. **Variable de decisión:** se utilizan las mismas del modelo básico y se agregan la siguiente decisión:

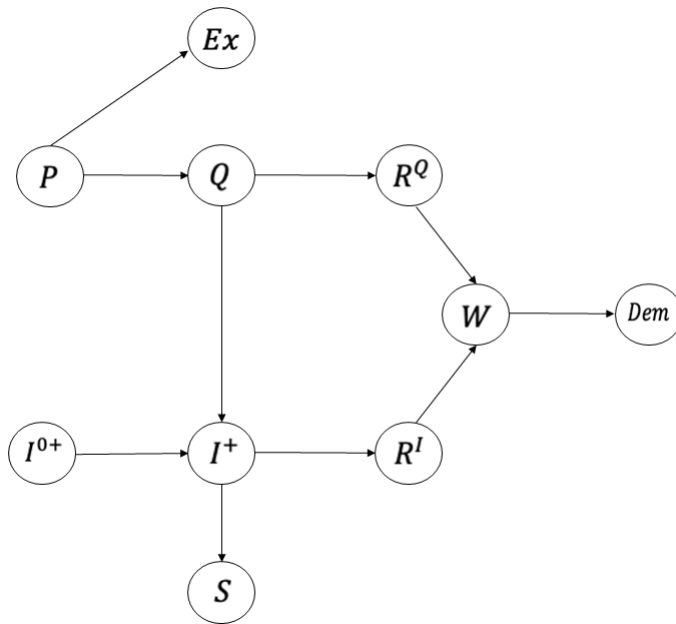
- $PBC_{ij\tau}$ : = Cantidad de unidades a las que se les realizará prueba en el micro-periodo  $\tau$  del hemocomponente  $i$  del tipo de sangre  $j$ .

3. **Función Objetivo:** a la función objetivo 7-1 se le agrega la disminución del costo de prueba tanto a las pruebas de producción interna como al servicio de pruebas externas.

$$\begin{aligned}
 \text{Minimizar} = & \sum_{i \in I} \sum_{j \in TS} \sum_{\tau' \in M} \sum_{\tau \in M} ((Cs_i \times S_{ij\tau}) + (Ci_i \times I_{ij\tau'\tau}^+) + ((Cp/L) \times (Ex_{\tau ij} + PB_{ij\tau})) \\
 & + \sum_{p \in P} Cq_p \times Q_{\tau ij p})
 \end{aligned}$$

#### 4. Restricciones:

- a) **Balance:** En este modelo las pruebas se realizan de manera inmediata y continua a la separación de los hemocomponentes, es por ello que no se tiene un inventario antes de las pruebas a menos que provenga de un horizonte de planeación anterior, y que la trazabilidad va directamente desde la producción a las pruebas, y de las pruebas puede suplir a la demanda o mantenerse en inventario como se puede observar en la figura 7-2. Se siguen usando las restricciones 7-2, 7-3, 7-4, 7-5,7-6,



**Figura 7-2:** Flujo BLSP-CT

sin embargo se agregó un balance para las pruebas.

- **Balance de pruebas:** Las unidades a las que se les realizará pruebas serán las unidades producidas y las provenientes de la demanda externa.

$$\sum_{p \in P} Q_{ij\tau p} + Ex_{\tau ij} = PBC_{ij\tau} \quad \forall t \geq 1, \tau \in M_t, i \in I, j \in TS \quad (7-15)$$

b) **Capacidad del proceso:** se le añadió el proceso de pruebas:

- **Capacidad pruebas:** Se limita la realización de pruebas semanalmente.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in TS} \sum_{\tau \in M_t} PBC_{ij\tau} \leq Capru \quad \forall t \in T \quad (7-16)$$

c) **Dominio de variables:** al dominio de las variables 7-13 se le añadió:

$$PBC_{ij\tau} \geq 0 \quad (7-17)$$

### 7.3. Modelo de dimensionamiento de lotes de sangre con pruebas no continuas BLSP-NCT (*Blood Lot Sizing Problem Non-Continuous Test*)

Al no realizarse las pruebas de manera inmediata se debe incurrir a mecanismos como inventarios de unidades que aun no han sido examinadas. Por otro lado, en este modelo la capacidad de pruebas se restringió diariamente con el fin de evaluar la flexibilidad y representar la situación de uno de los bancos de sangre estudiados; del mismo modo se agregó la decisión de cuándo se deben realizar las pruebas externas.

Los conjuntos serán iguales que en BLSP-B.

1. **Parámetros:** se usaron los mismos parámetros del BLSP-B junto con BLSP-CT, se añadió la capacidad de pruebas restringidas diariamente y un parámetro de demanda externa de pruebas.
  - $Capru$ : = Capacidad de cantidad de unidades a los que se les puede hacer prueba diariamente.
  - $DE_{ij}$ : = Demanda de pruebas a realizar en un periodo  $t$  por solicitudes externas del hemocomponente  $i$  del tipo de sangre  $j$ .
2. **Variables de decisión:** se usaron las mismas variables del modelo BLSP-B y se añadieron las siguientes:
  - $PB_{ij\tau'\tau}$ : = Cantidad de unidades que habiendo sido producidas en el microperiodo  $\tau'$  se les realizará prueba en el periodo  $\tau$  del hemocomponente  $i$  del tipo de sangre  $j$ .
  - $PBE_{ij\tau}$ : = Cantidad de unidades a las que se les realizará prueba en el periodo  $\tau$  del hemocomponente  $i$  del tipo de sangre  $j$ .
  - $I_{ij\tau'\tau}^{N+}$ : = Inventario no examinado del hemocomponente  $i$  que siendo producido en  $\tau'$  existe al inicio del microperiodo  $\tau$  del tipo de sangre  $j$ .

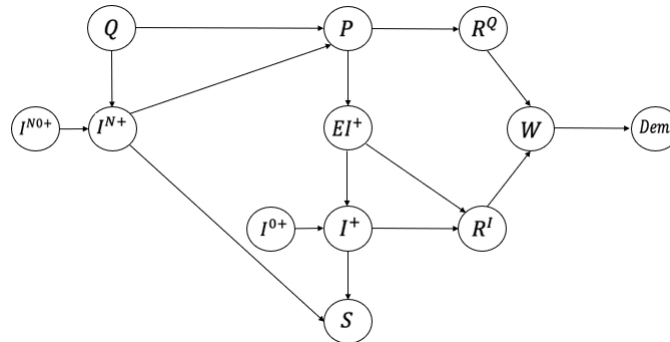
- $EI_{ij\tau'}^+$ : = Unidades del hemocomponente  $i$ , del tipo de sangre  $j$ , que siendo producido en  $\tau'$  a las que se les realizó pruebas pasaran el día  $\tau$  a inventario examinado.
- $I_{ij\tau'}^{FN+}$ : = Inventario no examinado restante al final del horizonte de planeación del hemocomponente  $i$  producido en el microperíodo  $\tau$  del tipo de sangre  $j$ .

3. **Función Objetivo:** a la función objetivo 7-14 se le intercambié el parámetro de pruebas externas por la nueva variable de decisión.

$$\begin{aligned}
 \text{Minimizar} = & \sum_{i \in I} \sum_{j \in TS} \sum_{\tau' \in M} \sum_{\tau \in M} ((C_{S_i} \times S_{ij\tau}) + (C_{I_i} \times (I_{ij\tau'\tau}^+ + I_{ij\tau'\tau}^{N+}))) \\
 & + ((C_{p/L}) \times (PBE_{ij\tau} + PB_{ij\tau})) + \sum_{p \in P} C_{q_p} \times Q_{\tau ij p}
 \end{aligned} \tag{7-18}$$

4. **Restricciones:**

a) **Balances:** En este modelo se simuló la producción de pruebas no inmediatas considerando dos tipos de inventario: examinado y no examinado; El inventario no examinado va a estar determinado por el inventario inicial de entrada no examinado proveniente del horizonte pasados al cual se le debe realizar pruebas antes del vencimiento de su vida útil. Luego de las pruebas este podrá ser trazado a un inventario examinado para así poder darle cumplimiento a la demanda. Ver figura.7-3



**Figura 7-3:** Flujo BLSP-NCT

- **Balance inicial:** al balance inicial 7-2 se le debe tener en cuenta inventario del horizonte de planeación anterior tanto examinado como no examinado,



que podrá ser utilizados en el primer caso, o se les podrá realizar pruebas para el segundo.

$$I_{\tau'ij}^{0+} + EI_{ij\tau'1}^+ = I_{ij\tau'1}^+ + R_{ij\tau'1} \quad \forall \tau' \in M_0, \quad i \in I, \quad j \in TS \quad (7-19)$$

$$I_{\tau'ij}^{N0+} = I_{ij\tau'1}^{N+} + PB_{ij\tau'1} \quad \forall \tau' \in M_0, \quad i \in I, \quad j \in TS \quad (7-20)$$

- **Balance producción:** el balance de producción propuesto en 7-3 cambia su enfoque, y será reemplazada por las siguientes restricciones dado a que las unidades a producir en el micro periodo pueden ser utilizadas para mantenerse en inventario no examinado o se les puede realizar pruebas.

$$Q_{ij\tau p} = I_{ij\tau\tau}^{N+} + PB_{ij\tau\tau} \quad \forall t \geq 1, \quad i \in I, \quad j \in TS, \tau \in M_t \quad \parallel \tau \neq |M_{|T|}| \quad (7-21)$$

$$Q_{ij|M_{|T|}|p} = I_{ij\tau}^{NF+} + PB_{ij|M_{|T|}||M_{|T|}|} \quad (7-22)$$

$$\forall t \geq 1, \quad i \in I, \quad j \in TS, \tau \in M_t \quad \parallel \tau \neq |M_{|T|}|$$

- **Balance trazabilidad inventarios examinados:** a la restricción 7-4 y 7-5 Se debe tener en cuenta que ingresan aquellas unidades provenientes de pruebas.

$$I_{ij\tau'\tau}^+ + EI_{ij\tau'(\tau+1)}^+ = I_{ij\tau'(\tau+1)}^+ + R_{ij\tau'\tau}^I \quad (7-23)$$

$$\forall t \geq 1, \quad \tau' \in M_t, \quad i \in I, \quad \tau \in \{\tau' + 1, \tau' + U_i + 1\}, \quad j \in TS.$$

$$I_{ij\tau'|M_{|t|}}^+ = I_{ij|M_{|t|}}^{F+} \quad (7-24)$$

- **Balance de inventarios no examinados:** el inventario no examinado que se mantiene al día de hoy de periodos pasados que pueden seguir siendo utilizados serán distribuidos entre el inventario no examinado del siguiente micro periodo y lo que saldrá para realizarle prueba al final del periodo.

$$I_{ij\tau'\tau}^{N+} = I_{ij\tau'(\tau+1)}^{N+} + PB_{ij\tau'\tau} \quad (7-25)$$

$$\forall t \geq 1, \tau' \in M_t, i \in I, \tau \in \{\tau' + 1, \tau' + U_i + 1\}, j \in TS.$$

$$I_{ij\tau'|M_{|t|}}^{N+} = I_{ij|M_{|t|}}^{NF+} \quad (7-26)$$

- **Balance cumplimiento de la demanda:** la restricción 7-6 cambia dado a que en este caso se debe tener en cuenta que las unidades provenientes de las pruebas están siendo trazadas.

$$\sum_{\tau' \in M} (R_{ij\tau'\tau}^I + R_{ij\tau'\tau}^Q) = W_{\tau ij} \quad (7-27)$$

$$\forall t \geq 1, \tau \in M_t, i \in I, j \in TS \quad \parallel (\tau' \geq (\tau - u_i)) \wedge (\tau' \leq \tau)$$

- **Balance pruebas:** el balance de pruebas 7-15 será reemplazada por 7-28 dado a que las unidades que tienen pruebas serán unidades a guardar en inventario o a ser utilizadas para satisfacer la demanda el microperiodo de esa prueba.

$$PB_{ij\tau'\tau} = EI_{ij\tau'\tau}^+ + R_{ij\tau'\tau}^Q \quad \forall t \geq 1, \tau \in M_t, i \in I, j \in TS \quad (7-28)$$

$$PB_{ij\tau'|M_{|T|}} = I_{ij\tau'|M_{|T|}}^{F+} + R_{ij\tau'|M_{|T|}}^I \quad (7-29)$$

b) **Demanda:** Se añade la demanda de las pruebas externas que no se había tenido en cuenta anteriormente.

- **Demanda externa:** todas las pruebas externas de un micro periodo cumplirán la demanda externa por periodo.

$$\sum_{\tau \in M_t} PBE_{ij\tau} = DE_{tij} \quad \forall t \in T, i \in I, j \in TS \quad (7-30)$$

c) **Capacidad del proceso:**

- **Capacidad pruebas:** En este caso 7-16 cambia dado a que limita la realización de pruebas diariamente.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in TS} (PBE_{ij\tau} + \sum_{\tau' \in M_t} PB_{ij\tau'\tau}) \leq Capru \quad \forall \tau \in M \parallel \tau \geq 1 \quad (7-31)$$

d) **Dominio de variables:** al dominio de las variables 7-13 se le agregan

$$PB_{ij\tau'\tau}, PBE_{ij\tau}, I_{ij\tau'\tau}^{N+}, EI_{ij\tau'\tau}^+, I_{\tau'ij}^{FN+} \geq 0 \quad (7-32)$$

## 7.4. Instancia ilustrativa

A continuación, se presenta una instancia de manera ilustrativa de pequeño porte que incluye y representa cada una de las decisiones que el modelo BLSP-NCT podría apoyar. Se representa la instancia de este modelo, solución factible más n óptima, ya que es el más flexible de todas las propuestas y contempla tanto las decisiones de los modelos BLSP-B y BLSP-CT como otras decisiones propias del BLSP-NCT.

La instancia representa un horizonte de planeación de pequeño porte: tres periodos, 21 microperiodos, el hemocomponente “Plaquetas” y un solo RH. Ver Figura 7-4.

T	3
$\tau$	21
i	Plaquetas
j	B+
Cap	50
Cap <sub>i</sub>	60
Cap <sub>ru</sub>	30
C <sub>q</sub>	\$9.75 Centrigugación
	\$59.27 Aféresis
C <sub>s</sub>	3000
C <sub>p</sub>	\$1.43
C <sub>i</sub>	\$3

Dem/T	1	2	3
	10	17	6

(a) Parámetros

(b) Demanda semanal

**Figura 7-4:** Datos de entrada-Instancia ilustrativa

Las convenciones de los colores se encuentran en la parte superior derecha y están determinadas por la variable de decisión que representa la casilla según lo muestra la figura 7-5

M_t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
-5	10 9																				
-4	22 2	22 2																			
-3	8 7	8 7	8 7																		
-2	7	7	7	7																	
-1	10																				
0	11 1	11 1	11 1	11 1	11 1	11 1	11 1														
1..6																					
7						15		15													
8						15 0 0		15 15 15													
9									40	38	38	38	38	38	38						
10..14									38 2 2						38						
15															6	6	6				
16															6 0 0		6 6 6				
17																	6	6	3		
18																		3	50	50	22
19..21																		50 0 0		22 22	22 28
w	10							15	2									3	3		

**Variables**

- $I^+$
- $I^{N+}$
- $R^I$
- $Q$
- $EI^+$
- $P$
- $R^Q$
- $W$
- $S$
- $IF$
- $INF$

Figura 7-5: Posible solución a la instancia ilustrativa

Desde los microperiodos que existe inventario inicial examinado y no examinado, llegan a el microperiodo 1 todas las unidades que siguen vigentes o próximas a vencer. Proviene del microperiodo -5:10 unidades del inventario inicial examinado que son reconocidas enseguida en el inventario examinado y 9 unidades del inventario inicial no examinado que se reconocen como inventario no examinado; estas 19 unidades que llegan al microperiodo 1 salen inmediatamente como unidades descartadas ese mismo día ya que se han cumplido los cinco días de su vida útil.

Desde el microperiodo -1 provienen: 10 unidades del inventario inicial examinado que son utilizadas inmediatamente para satisfacer la demanda directamente desde el inventario en el microperiodo 1.

Al ser la demanda del periodo 1 igual a 10 unidades, la demanda quedaría satisfecha con la utilización del inventario inicial examinado proveniente del microperiodo -1 que fue inmediatamente utilizado al entrar a inventario examinado.

En el microperiodo 7 el modelo decide producir 15 unidades que considera como inventario no examinado hasta el microperiodo 8 en el que decide realizarles pruebas a todas las 15 unidades y utilizarlas inmediatamente en el microperiodo 8 para satisfacer una parte de la demanda del periodo 2. El periodo 2 tiene una demanda de Plaquetas B+ de 17 unidades, 15 fueron satisfechas en el microperiodo 8 y faltaría satisfacer las dos restantes para cumplir con la demanda del periodo.

En el microperiodo 9 se producen 40 unidades (provenientes de la producción por centrifugación de glóbulos rojos), 38 unidades pasan a inventario no examinado y a las 2 restantes producidas se les realiza prueba para inmediatamente satisfacer el faltante de la demanda del periodo 2.

Las 38 unidades que ingresaron como inventario no examinado en el microperiodo 9 se

mantienen en este inventario hasta el microperiodo 15 en el que, al no haber sido necesarias para ser utilizadas durante su vida útil, terminan siendo unidades para echar a perder en el microperiodo 15 ya que en este finaliza su vigencia.

La demanda del periodo 3 es de 6 unidades. En el microperiodo 15 se producen 6 unidades y se envían de inmediato a inventario no examinado y se mantienen en éste hasta el microperiodo 17 en el que se les realiza prueba a todas las unidades para pasar a inventario examinado desde este microperiodo.

Las 6 unidades ingresan a inventario examinado en el microperiodo 17, 3 de ellas se utilizan para satisfacer parte de la demanda en el microperiodo 18, las tres que restaban en inventario examinado se mantiene un microperiodo más para salir del inventario en el microperiodo 19 y satisfacer el restante de la demanda del periodo 3.

Finalmente, en el microperiodo 18 se producen 50 unidades provenientes de la producción por centrifugación, estas unidades producidas se van directamente a inventario no examinado y se mantienen en éste hasta el microperiodo 20. En el microperiodo 20 se decide realizar prueba a 22 unidades, pasando estas 22 unidades a inventario examinado, las 28 unidades restantes se mantienen en inventario no examinado.

Al estar en el último microperiodo del horizonte de planeación (microperiodo 21) y, satisfecha anteriormente la demanda del periodo 3, quedarían 22 unidades en inventario examinadas que se reconocen como unidades en inventario final examinado, las 28 unidades que se mantuvieron en inventario no examinado serán entonces unidades a inventario final no examinado.

Estas unidades en inventarios finales tanto como examinadas como no examinados podrán ser utilizadas, respetando su vida útil, en un horizonte de planeación posterior en el que 22 unidades estarán listas(examinadas) para ser utilizadas inmediatamente en el primer microperiodo sin ningún costo.

# Capítulo 8

## Experimentos computacionales

En este capítulo se muestran los diferentes experimentos a los que fueron sujetos los modelos BLSP-G, BLSP-CT y BLSP-NCT, con el objetivo de verificar el cumplimiento de las características expuestas tanto generales como específicas de los sistemas productivos, demostrando también su adaptabilidad, flexibilidad y respuesta a características específicas del problema tratado.

Dentro de las características a abordar se planeará la producción ( $Q_{ij\tau p}$ ) (recolección y separación) de tres hemocomponentes (glóbulos rojos, plaquetas, plasma) para ocho grupos sanguíneos, manejando el control de inventarios en distintos horizontes de planeación por periodos (semanas) de 7 micro periodos (días) cada uno y para ello también debe tener en cuenta las vidas útiles de cada hemocomponente.

Para la experimentación se usaron como datos de entrada de la demanda ( $Dem_{tij}$ ) basados en el informe diagnóstico Red Nacional de bancos de sangre (INS, 2020) el cual presenta la distribución porcentual por grupo sanguíneo, se promediaron los datos de demanda del banco de sangre de Córdoba y el banco de sangre del Hospital San Jerónimo.

A la cantidad de unidades que procesa el banco de sangre (1200 unidades mensuales) se



les aplicó el porcentaje obtenido anteriormente obteniendo así una demanda promedio por grupo sanguíneo y hemocomponentes.

Se obtuvo una base de datos por parte de los autores (Salcedo Moncada y cols., 2017); mediante el método gráfico se concluyeron tendencias estacionales por periodo (semanas) con distribuciones normales.

Para la modelación se va a tener en cuenta un inventario inicial ( $I_{\tau'ij}^{0+}$ ) de entrada proveniente como residuos de horizontes de planeación anteriores. El inventario inicial se determinó bajo el mismo criterio de la demanda, sin embargo, este es el 5% de la misma, teniendo en cuenta el criterio del inventario de seguridad mencionado en las entrevistas.

Mediante la información recolectada con el banco de sangre de Córdoba, se tiene conocimiento de que no existe límite de capacidad para el procesamiento ( $Cap_p$ ) y separación de la sangre. Sin embargo, este parámetro es tenido en cuenta dado que se quiere estudiar para casos más generales donde esto sea una restricción.

La capacidad de las pruebas ( $Cap_{pu}$ ) e inventario ( $Cap_{pi}$ ) está determinada por la cantidad de equipos que posee el banco para estos procedimientos.

El costo de inventario se obtuvo en función de la vida útil de cada hemocomponente, teniendo así que plaquetas al tener menor vida útil su costo de almacenamiento será mayor.

En cuanto al costo de pérdida, en teoría la sangre no tiene ningún costo, puesto que no se debería vender, el valor de la sangre no se podría representar cuantitativamente; sin embargo, sabiendo el valor significativo que tiene la sangre y la política de cero incineraciones de los bancos, es que estimamos el costo de pérdida de un hemocomponente.

Con el fin de dar cumplimiento a un objetivo del proyecto mencionado en la sección 3.3,

se realiza la comparación y análisis de diferentes casos que se entre los modelos BLSP-CT y BLSP-NCT, identificando las posibles ventajas y desventajas que conllevaría cada sistema de producción y que son convenientes para su aplicación en la práctica.

## 8.1. Generación de casos

Se generaron 5 instancias para cada modelo con las características mencionadas en la sección de modelación, y para cada una de esas instancias se determinaron diferentes casos que representaban variaciones que representan distintas situaciones que podrían afectar el comportamiento en las decisiones del modelo. Para la generación de estos casos se tienen en cuenta aquellos parámetros variables en el caso particular de la sangre, y aquellos como tipos de producto, procesos de producción y tiempos de vida útil deben mantenerse. A continuación, se describen los casos y su objeto de estudio:

Caso 0. Caso base: Verificación de los requerimientos del problema.

Caso 1. Aumento General de la demanda en un 30 %: Observar comportamiento de la producción.

Caso 2. Disminución de la capacidad de aféresis en un 90 %

Caso 3. Disminución de la capacidad de centrifugación en un 90 %

En los casos anteriores se observa el control de inventario para cada proceso y los impactos de la implementación de cada uno.

Caso 4. Aumento costo de inventario de plasma al doble.

Caso 5. Disminución de la capacidad inventario de plasma en un 50 % e inventario inicial para plasma nulo. Para los casos anteriores se desea contrastar la producción por centrifugación y el alto almacenamiento asociado a esta decisión.

Caso 6. Disminución de la capacidad inventario para todos los hemocomponentes en un 30 % e inventario inicial nulo: Observar el comportamiento de distribución de la producción y manejo de inventarios.

Caso 7. Aumento de demanda en periodos específicos<sup>1</sup> en un 70 %: Descripción de situaciones reales dado a que la demanda aumenta de acuerdo a temporadas en el año donde existe mayor accidentalidad.

Caso 8. Inventario inicial nulo: Observar comportamiento de pérdidas derivadas de la producción.

Caso 9. Reducir costo de perdidas en un 95 %: Como se había mencionado anteriormente el costo de la sangre no se puede definir cuantitativamente, sin embargo, se quiere observar el comportamiento de la producción e inventarios al reducir esta penalización, lo cual puede ser aplicable a otras industrias.

Caso 10. Aumentar costo de centrifugación en un 70 %: Debido a que el costo de aféresis es mayormente elevado, se quiere evaluar el comportamiento de la producción por centrifugación con costos similares.

Para los modelos BLSP-CT y BLSP-NCT se añadieron los siguientes casos:

Caso 11. Disminución de costos de pruebas: Observar comportamiento de inventarios y comparar el nivel de estos entre los dos modelos.

Caso 12. Aumento en un gran numero a la capacidad de pruebas, costo de pruebas nulo, e inventario no examinado nulo: Demostrar la generalidad del BLSP-NCT y BLSP-CT los cuales son un caso propio de los sistemas productivos de los bancos de sangre y especifico dentro de los productos perecederos.

---

<sup>1</sup> $10 \leq \tau \leq 12$  para instancias pequeñas,  $24 \leq \tau \leq 28$  para instancias medianas y  $77 \leq \tau \leq 81$  para instancias grandes

## 8.2. Propiedades del entorno experimental

Los experimentos realizados con los modelos BLSP-G, BLSP-CT y BLSP-NCT se llevaron a cabo en un ordenador con procesador AMD Ryzen 7 PRO 5850U y una capacidad de RAM instalada de 16.0 GB. Se utilizó como lenguaje de programación algebraico AMPL en su versión 3.6.8 y el paquete CPLEX en su versión 20.1.

# Capítulo 9

## Análisis de los resultados

En este capítulo se realizará un análisis de los resultados obtenidos desde la comparación entre casos, entre modelos y de manera generalizada; los resultados de cada uno de los modelos se encuentran en las tablas (A-7, A-8, A-9).

### 9.1. Comparación de experimentos

Se compararon aquellos casos con parámetros relacionados tales como: demanda, capacidades, costos, inventarios y finalmente se demostró la adaptabilidad del modelo BLSP-NCT al caso básico BLSP-B de control de productos perecederos.

Con respecto a la nomenclatura utilizada en la explicación, se refiere a los casos con la letra “C” y el número del caso a comparar, y en cuanto a los modelos, por tratarse de el mismo problema BLSP se usarán sus complementos para el modelo básico “B”, para el modelo de pruebas continuas “CT”, y finalmente para el modelo de pruebas no continuas “NCT”. Por lo tanto, cuando se refiera a “C7\_NCT” se referirá al caso 7. Del modelo de pruebas no continuas.

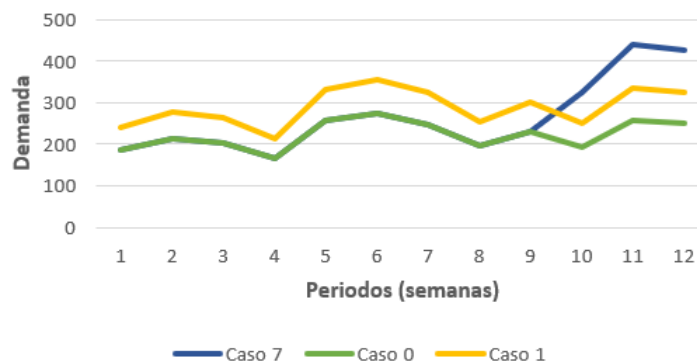
Finalmente se muestra un resumen de los cambios entre los modelos (Ver A), estas comparaciones son de un mismo modelo con respecto a su caso base como se puede ver en la tabla. **A-1**

### 9.1.1. Comparación de demandas

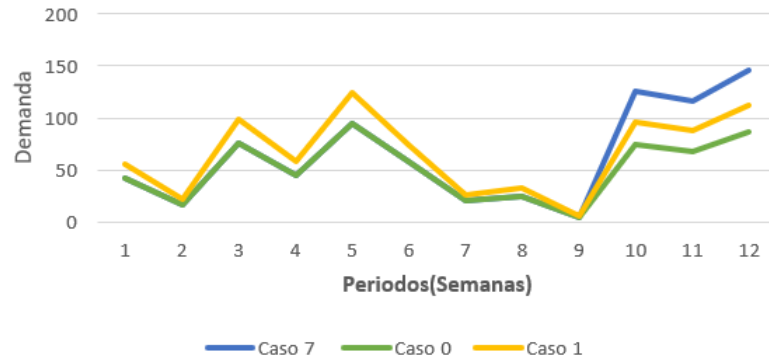
CASO 0/CASO 7 /CASO 1

Se muestran las siguientes gráficas de los datos de la demanda para el hemocomponente correspondiente con el fin de mostrar el cambio en la demanda entre los casos (ver figuras **9-1,9-2, 9-3**) .

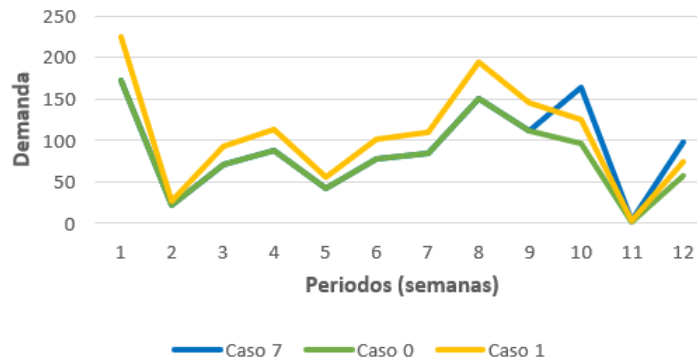
**Figura 9-1: Demanda glóbulos rojos O+**



**Figura 9-2: Demanda plaquetas O+**



**Figura 9-3: Demanda plasma O+**



- **Modelo BLSP-B:** Los tres casos descartan la misma cantidad de unidades ya que todos aprovechan en su totalidad el inventario inicial que aún tiene vida útil. En el C0 elige en un 27% realizar la producción por aféresis por encima de centrifugación. En los C1 y C7 elige en un 35% realizar la producción por aféresis por encima de centrifugación con un cambio porcentual respecto al C0 de 8% debido a que se presenta un aumento en un hemocomponente en específico (gr) en los últimos 3 periodos. Demostrando así que a mayor demanda de un solo hemocomponente, mayor será el porcentaje de preferencia de producción por aféresis. (ver figura 9-8)

El último día se decide en ambos casos realizar la producción por centrifugación puesto que reconoce que no se guardará en un inventario con costos IF y de este modo cumplir la demanda.

- **Modelo BLSP-CT:** En los que respecta a este modelo, sigue el mismo comportamiento del BLSP-B, sin embargo, existe un aumento en la función objetivo dado al costo de pruebas (ver anexo **A-2**):

Para C7\_CT aumenta en un 26 % con respecto al caso base, esto debido a la cantidad que tuvo que producir para suplir los picos elevados de demanda, y las pruebas asociadas.

Para C1\_CT aumenta en un 35 % con respecto a la base, dado a la elevación de la demanda en todos los periodos.

- **Modelo BLSP-NCT:** En el modelo de NCT las pérdidas aumentan ya que son provenientes de los 2 tipos de inventarios inmersos en este problema (ii0 y iiN0). En cuanto a la función objetivo: Para C7\_NCT aumenta en un 10 % con respecto a la base. Para C1\_NCT se aumenta solo en un 4 %, el aumento no se ve reflejado como en el C1\_CT puesto que las unidades producidas de más por el proceso de centrifugación se guardan en un inventario no examinado, lo que se ahorra el proceso de pruebas.

- **Entre Modelos:** El tiempo de solución es el factor más destacado ya que el modelo NCT demora dando solución 37 veces más que lo demora el modelo CT. (ver figura 9-9)



### 9.1.2. Comparación entre capacidades:

CASO 0/CASO 2/CASO 3

La comparación entre las capacidades de producción de cada caso se pueden evidenciar en las figuras 9-4.



Figura 9-4: Representación capacidades

- **Modelo BLSP-B:** En el C2\_B se puede evidenciar un aumento excesivo de unidades descartadas dado a la disminución en la capacidad de aféresis (ver. A-1). Esto obliga a usar centrifugado como método de separación, causando excedentes en hemocomponentes poco demandados, los cuales, se terminan descartando.

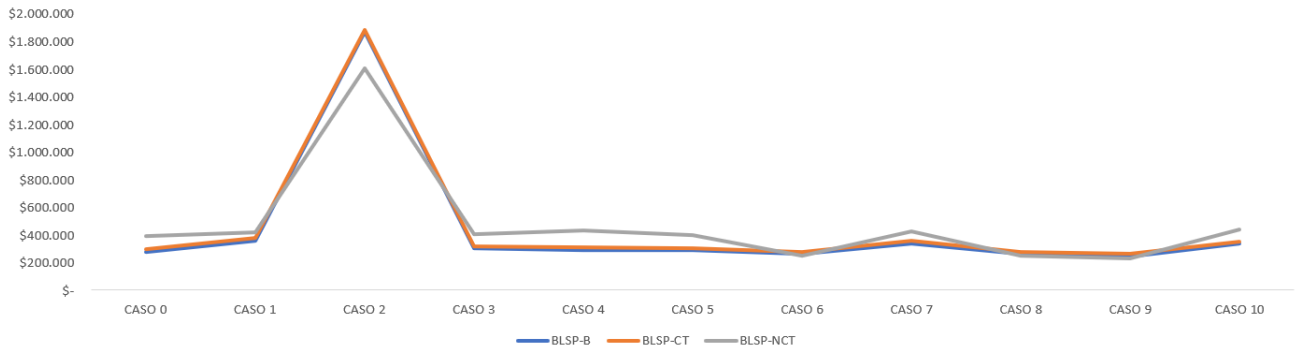
En cuanto a la función objetivo, esta aumentó 7 veces con respecto al caso base (ver 9-5). Esto demuestra que la importancia en la implementación del método de separación por aféresis en la operación del banco de sangre.

Para el C3\_B se mantuvieron las unidades descartadas con respecto al C0\_B sin embargo, la función objetivo aumento en un 10 %, con respecto al base.

En cuanto a los tiempos totales de solución C2\_B mostró un aumento en del 86 % esto se debe a la cantidad de unidades que debía procesar la trazabilidad de unidades que no serían utilizadas.

- **Modelo BLSP-CT:** Este modelo posee el mismo comportamiento que el modelo BLSP-B, con un aumento en sus funciones objetivos en un promedio de un 4% con respecto al modelo base, correspondientes al proceso de pruebas.
- **Modelo BLSP-NCT:** En C2\_NCT la función objetivo solo aumento 3 veces con respecto al caso base, esto se puede explicar dado al inventario final no examinado al cual no se le realizan pruebas, por tanto, no se incurre en este costo. En cuanto a los tiempos de solución el C2\_NCT solo aumenta un 6%. Este aumento es inferior al C2\_NCT dado a la flexibilidad del modelo en la decisión de la realización de pruebas.

**Figura 9-5: Comparación de F.O entre el caso 2 y el resto de casos.**

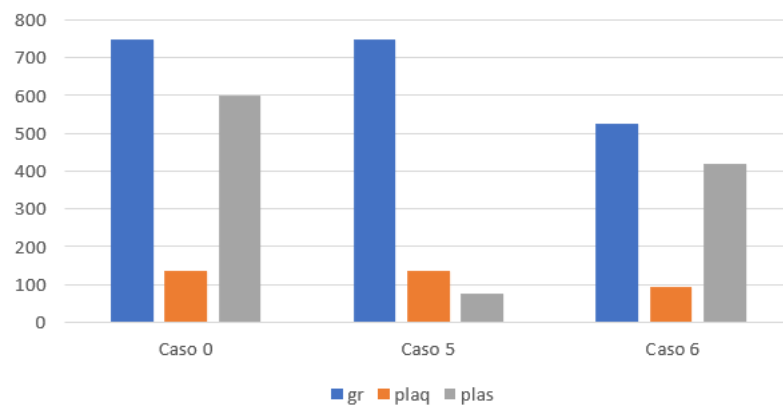


### 9.1.3. Comparación entre capacidad de inventarios

CASO 0/CASO 5/CASO 6

La representación de las capacidades de los inventarios por caso se pueden evidenciar en la gráfica 9-6:

**Figura 9-6: Capacidades de inventario ( $C_{api_i}$ ) por caso.**



- **Modelo BLSP-B:** Al disminuir la capacidad de almacenamiento del hemocomponente plasma (C5\_B), se prefiere la producción por aféresis en un 15 % (ver 9-8) por encima de centrifugación, esto debido a que por centrifugación se debe mantener inventario de plasma el cual se está limitando. La función objetivo del caso 5 varía en un 4 % más que el caso base.

En el C6\_B al disminuir la capacidad de almacenamiento de todos los hemocomponentes, se aumenta el porcentaje de producción por aféresis en un 18 %. El modelo disminuye en este caso la función objetivo un 8 % esta se ve representada en la utilización más pronta de lo producido sin incurrir mucho en almacenamiento.

- **Modelo BLSP-CT y BLSP-NCT:** Se presenta el mismo comportamiento del modelo BLSP-B, sin embargo, las funciones objetivo se ven afectadas al alza dado al costo propio de las pruebas. El aumento es mayor en las pruebas continuas, ya que, en las no continuas, se mantienen en un inventario final no examinado.

#### 9.1.4. Comparación Costos

CASO 0 / CASO 4/ CASO 9 / CASO 10 / CASO 11 <sup>1</sup>

- **Modelo BLSP-B:** En el C4\_B al subir el costo de inventario de plasma, aumentó en un 4 % la función objetivo y el modelo prefiere la producción de aféresis un 10 % por encima de centrifugación. Para el C9\_B se disminuye el costo de pérdida en un 30 %, se disminuyó en un 15 % la función objetivo, las otras decisiones continúan comportándose como en el caso base. En el C10\_B se aumentó el 40 % del costo de centrifugación, lo cual impactó en la función objetivo con un aumento del 17 % y decidió hacer la producción por aféresis en un 9 % por encima de la producción por centrifugación.

En los 3 casos evaluados, se mantuvieron las pérdidas puesto que estas provienen del inventario inicial (ver anexo **A-1**)

- **Modelo BLSP-CT:** Se presenta el mismo comportamiento del modelo básico. Los cambios en las funciones objetivos con respecto al caso base fueron del (ver anexo **A-6**):

C4\_CT: aumentó 10 %.

C9\_CT: Disminuyó un 10 %.

C10\_CT: Aumentó un 27 %.

C11\_CT: Aumentó un 8 %.

Las diferencias son menores en el caso de disminución y mayores en los casos de aumento dado al costo de pruebas.

---

<sup>1</sup>Ver casos en la sección 8.1

- **Modelo BLSP-NCT:** Presenta el mismo comportamiento del modelo básico. Los cambios en sus funciones objetivos con respecto al caso base fueron del (ver anexo **A-6**):

C4\_CT: aumentó 11 %.

C9\_CT: Disminuyó un 42 %.

C10\_CT: Aumentó un 14 %.

C11\_CT: Aumentó un 1 %.

- **Entre Modelos:** Los cambios de la funciones objetivos entre el modelo BLSP-CT y BLSP-NCT para el C4 no son significativos.

En el C9 para BLSP-NCT la disminución de la F.O es superior, dado a que se pierden mayor cantidad de unidades ya que provienen de dos tipos de inventarios (examinado y no examinado).

En el C10\_NCT solo aumentó un 14 % y en el C10\_CT un 27 % dado al proceso de pruebas, ya que en NCT no se realizan y se dejan en un inventario final no examinado.

Se puede observar de manera generalizada en los 3 modelos, que los tiempos de los casos C4 y C10 disminuyen con relación a su respectiva base (ver figura **9-9**), esto se debe a que se están impactando parámetros que influyen en el trade-off del modelo, al aumentarlos resulta más evidente el beneficio de tomar otras decisiones.

### 9.1.5. Comparación entre inventarios iniciales

CASO 0/ CASO 8

- **Modelo BLSP-B:** En el C8 donde no se tiene en cuenta un inventario inicial ( $I_{\tau'ij}^{0+} = 0$ ) se puede evidenciar que no se tienen unidades descartadas (ver anexo **A-1**) y que los descartes anteriormente mostrados son del inventario mencionado. Esto ocasiona que la función objetivo disminuya en gran cantidad puesto a los altos costos de pérdida. Del mismo modo al no tener inventarios iniciales, se debe producir lo solicitado en la demanda y un 3 % más; prefiriendo en un 15 % la producción por aféresis por encima de la centrifugación.

En cuanto al inventario final IF en el C8 solo se guardan los resultantes del proceso de centrifugación de los hemocomponentes de plasma y plaquetas puesto a que el ultimo micro periodo se hacen gr por centrifugación, en el caso base sucede lo mismo sin embargo se le suma lo proveniente del inventario inicial.

- **Modelo BLSP-CT:** El modelo se comporta del mismo modo que el caso básico, sin embargo, la función objetivo solo disminuyó un 4 %, esto se debe al costo asociado de las pruebas. En cuanto al tiempo total de solución en el C8 se disminuye un 57 % con respecto al caso base. (ver figura **9-9**)
- **Modelo BLSP-NCT:** Al igual que los modelos anteriores no se pierden unidades; C8.NCT muestra una disminución en la función objetivo con respecto al modelo base de un 36 % dado a que no se pierden unidades y decide realizar unidades por centrifugado a las que no les hace el proceso de prueba, enviándolos a un inventario final no examinado. En cuanto al tiempo de resolución disminuyó en un 83 % con respecto al base.

### 9.1.6. Comparación Adaptabilidad y flexibilidad del modelo BLSP-NCT

CASO 0/ CASO 12

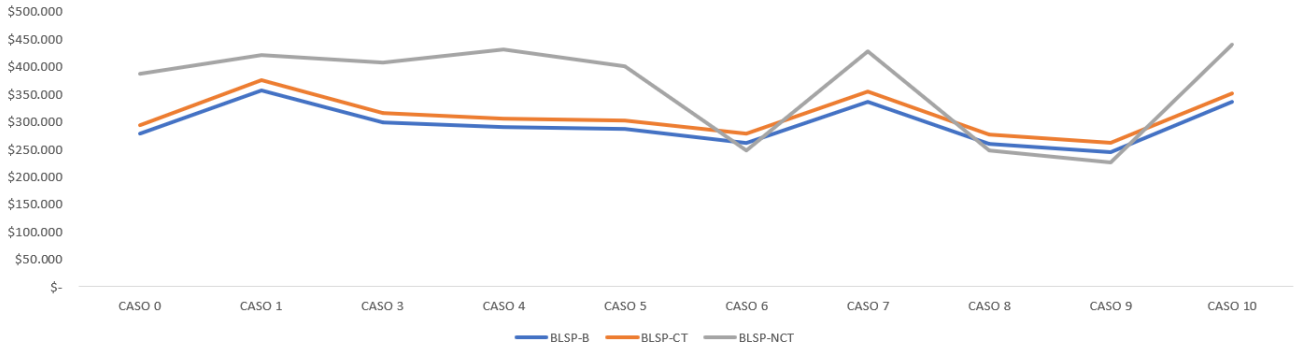
- **Entre Modelos:** Con este experimento se busca demostrar que el modelo BLSP-CT y BLSP-NCT son casos más específicos del modelo básico (BLSP-B), los anteriormente mencionados cubren decisiones con características propias de los sistemas productivos de los bancos de sangre, esto se demostró ya que se igualaron a cero aquellos parámetros relacionados con pruebas, e inventarios iniciales no examinados. Al estar en igual condiciones que el básico, sus funciones objetivo llegaron al punto óptimo, dando el mismo resultado en las variables de decisión y realizando el mismo proceso, sin embargo, el cambio ocurrió en los tiempos de resolución, dando así en un promedio un aumento del 44 % del tiempo para el BLSP-CT, y para el BLSP-NCT es nueve veces superior, pero esto es debido a que se triplican la cantidad de iteraciones en comparación al básico. Este comportamiento se puede explicar debido a el procesamiento de datos que debe hacer con las funciones de capacidad de pruebas, dado a que, aunque no se tenga en cuenta un parámetro restrictivo que limite (*capru*), el solver realiza el procedimiento con el fin de verificar su cumplimiento.

A continuación se muestra de manera gráfica la comparación entre la función objetivo de todos<sup>2</sup> los casos para cada uno de los modelos (ver figura 9-7).

---

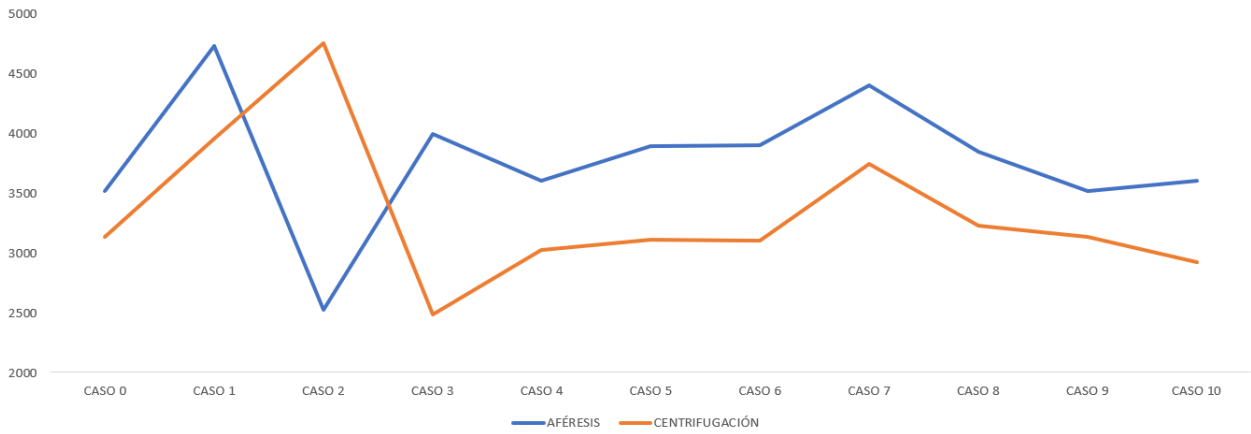
<sup>2</sup>Aclaración: no se muestra el caso 2 dado a que la función objetivo es atípica con respecto a las otras y no permite ver a detalle las variaciones entre las funciones objetivos

**Figura 9-7: Comparación de F.O entre modelos y casos**



Del mismo modo de muestra gráficamente el promedio (entre modelos) del proceso de separación utilizado en cada caso:

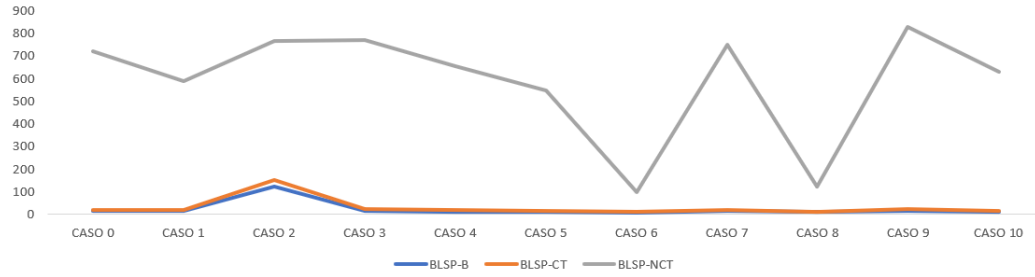
**Figura 9-8: Comparación de proceso entre casos**



Finalmente se muestra la comparación de los tiempos de respuesta entre los casos y los modelos:



**Figura 9-9: Comparación de Tiempos entre modelos y casos**



# Capítulo 10

## Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo se estudió el problema de dimensionamiento de lotes en los bancos de sangre en general.

A partir del diseño de los modelos se realizó la planeación de la recolección y gestión del inventario de hemocomponentes con el fin de aportar a el banco de sangre tomado como caso estudio; el cual, ha venido realizando estos procesos de manera empírica.

Se destaca que los modelos consiguen representar la estructura y las decisiones que se quieren tomar, decidiendo el momento óptimo para la recolección, facilitando también la planeación con anterioridad para la jornada de recolección en el momento justo. Se propone realizar cronogramas o planes de donación a aquellos donantes fijos y donantes con tipos de sangre poco común.

En cuanto al método de separación, se destaca la importancia de una debida distribución, ya que sacando provecho al proceso de aféresis para aquellos hemocomponentes mayormente solicitados y el proceso de centrifugación soportando demandas de aquellos grupos sanguíneos con mayor solicitud, se llega a una minimización en los costos.

Es importante resaltar que los procesos de separación deben trabajar en sinergia de acuerdo a las características que posea el banco de sangre, sin embargo, no implementar alguno de estos procesos incurre en el aumento de los costos como se evidencia en el caso 2 en la figura **9-5**.

En todos los modelos se llega a la conclusión, y mediante los datos utilizados mencionados anteriormente en la sección de modelación, que en promedio se debe separar por aféresis un 9 % por encima de centrifugación (ver figura. **9-8**), incluso cuando el costo de producción por este proceso es mucho más elevado que el de centrifugación. Lo anterior se explica dado a que al escoger la producción por centrifugación se está obligando a producir la misma cantidad de todos los hemocomponentes y por ende incurrir en mayores costos de hemocomponentes menos demandados en inventario.

En la mayoría de los casos se evidenció una producción por centrifugación en el último micro periodo del horizonte de planeación ya que se logra cumplir la demanda faltante y se evita el costo de inventario. Por ello es importante resaltar, que si no se desea obtener un inventario final para próximos horizontes de planeación, entonces será más conveniente la separación por aféresis en un mayor porcentaje que el anteriormente mencionado.

Los modelos logran resultados con tiempos computacionales muy eficientes como se puede ver en la figura **9-9** y óptimos, sin embargo, se evidenció que el solver una vez consigue de procesar los datos de entrada resuelve muy rápido el modelo sin embargo gasta una cantidad considerada de memoria RAM. De tal modo que a mayores variables involucradas, se tendrá un alcance para el horizonte de planeación mucho menor, dando como resultado para el modelo BLSP-B una planeación de hasta 115 periodos (26 meses), para el modelo BLSP-CT una planeación de 53 (12 meses) y para BLSP-NCT 12 periodos (3 meses).

Como posibles investigaciones futuras se propone incluir características que se consideran importantes para ser tenidas en cuenta en trabajos futuros como lo son la inclusión de la

compatibilidad donante-receptor <sup>1</sup> e identificación de donantes potenciales y limitados. Se recomienda un estudio del pronóstico de la demanda con el fin de identificar tendencias que no se tuvieron en cuenta en este estudio por falta de información, e incorporar la estocasticidad de la oferta.

---

<sup>1</sup>Ejemplo: Se puede recolectar mayor cantidad de hemocomponentes O+ dado a que es el donante universal y es compatible con los otros tipos de sangre

# Referencias

- Albornoz, V. M., Bohn, I. L., y de la Maza, M. F. (2004). Dimensionamiento de lotes con demanda incierta. *Revista Ingeniería de Sistemas*, 18(1), 23–39.
- Alkhaja, N., Chadly, A., Almarzooqi, A., y Fikri, A. (2020). A Linear Programming Model for a Blood Inventory Management at a Regional Blood Bank. , 1–16.
- Amorim, P., Günther, H.-O., y Almada-Lobo, B. (2012). Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products. *International Journal of Production Economics*, 138(1), 89-101. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527312001016> doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.005>
- Antún, J. P., y Alarcón, R. (2014). Ranking projects of logistics platforms: a methodology based on the electre multicriteria approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 160, 5–14.
- Arboleda Zúñiga, J. (2017). Modelos matemáticos y estocásticos para control del inventario en bancos de sangre: revisión de la literatura. *Inventum*, 12(22), 52–64. doi: 10.26620/uniminuto.inventum.12.22.2017.52-64
- Arboleda Zuñiga, J., Ramírez Fernández, M., Salcedo, B., y cols. (2018). Io-03 modelo matemático-estocástico para administrar el inventario del bancode sangre de un centro hospitalario. En *Congreso internacional gestión e innovación cigi 2017*.
- Arciniegas, A., y Salazar, M. (2012). *MODELO PARA LA PLANEACIÓN DE PRODUCCIÓN DE COMPONENTES SANGUÍNEOS EN UN BANCO DE SANGRE DE LA CIUDAD DE CALI* (Tesis Doctoral, UNIVERSIDAD ICES). Descargado

de [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca/\\_digital/bitstream/10906/76517/1/modelo-\\_planeacion-\\_produccion.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca/_digital/bitstream/10906/76517/1/modelo-_planeacion-_produccion.pdf)

Ávila, R. I. (2016). Propiedades de la sangre. *HUMANA*, 264.

Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. Pearson educación.

Decreto1571. (1993). Decreto Número 1571 de 1993. *Diario Oficial*, 1993(40), 27. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004

Decreto616. (1981). <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1722661>.

Dillon, M., Oliveira, F., y Abbasi, B. (2017). A two-stage stochastic programming model for inventory management in the blood supply chain. *International Journal of Production Economics*, 187(January), 27–41. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.02.006> doi: 10.1016/j.ijpe.2017.02.006

Duan, Q., y Liao, T. W. (2014). Optimization of blood supply chain with shortened shelf lives and ABO compatibility. *International Journal of Production Economics*, 153, 113–129. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.012> doi: 10.1016/j.ijpe.2014.02.012

Duong, L. N., Wood, L. C., y Wang, W. Y. (2015). A Multi-criteria Inventory Management System for Perishable and Substitutable Products. *Procedia Manufacturing*, 2(February), 66–76. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.012> doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.012

Forero-Matiz, S. P. (2014). Implementación de guía para la administración del riesgo en la producción de componentes sanguíneos del banco de sangre hemocentro distrital de bogotá, colombia. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 10(18), 29–37.

Fox, S. I. (2013). Fisiología humana.

Gunpinar, S., y Centeno, G. (2015). Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals. *Computers and Operations Research*, 54, 129–141. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2014.08.017> doi: 10.1016/j.cor.2014.08.017

- Haijema, R. (2014). Optimal ordering, issuance and disposal policies for inventory management of perishable products. *International Journal of Production Economics*, 157, 158–169.
- INS. (2020). *Informe Ejecutivo Del Comportamiento De La Donación De Sangre En Colombia 2020 Instituto Nacional De Salud* (Inf. Téc.).
- Juárez, A. C., Zuñiga, C. A., Flores, J. L. M., y Partida, D. S. (2016). Analysis of time-series on the forecast of the demand of storage of perishable products. *Estudios Gerenciales*, 32(141), 387–396. doi: 10.1016/j.estger.2016.11.002
- Leal Clavijo, J. A., y Puentes Rincón, E. A. (2011). Sistema de planeación y control de producción en la planta central de carnes brasilia.
- Lowalekar, H., y Ravi, R. R. (2017). Revolutionizing blood bank inventory management using the toc thinking process: An indian case study. *International Journal of Production Economics*, 186, 89–122.
- Mesa Martín, B., y cols. (2017). Revisión literaria: Gestión de la cadena de suministro de plaquetas.
- Miller, R. G., Curwen, M. S., White-Smith, K. A., y Calfee, R. C. (2015). Cultivating primary students' scientific thinking through sustained teacher professional development. *Early Childhood Education Journal*, 43(4), 317–326.
- Muriel, A. F. O., Brailsford, S., y Smith, H. (2014). Un modelo de optimización bi-objetivo para la selección de tecnología y asignación de donantes en la cadena de suministro de sangre. *Sistemas y Telemática*, 12(30), 9–24.
- Noble Ramos, V. M. (2017). Análise da aplicação de modelos de otimização linear na solução de problemas de dimensionamento de lotes e sequenciamento da produção de bebidas.
- Nogueira. (2010). *OPS/OMS: Elegibilidad para la Donación de Sangre*. Descargado de [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1449-3Aelegibilidad-para-la-donacion-de-sangre&Itemid=2163&lang=es](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=1449-3Aelegibilidad-para-la-donacion-de-sangre&Itemid=2163&lang=es)
- OPS. (2018). *Se debe optimizar la donación voluntaria de sangre para tener mejores resultados en los pacientes* (Inf. Téc.). Descargado de <https://>

www3.paho.org/hq/index.php?option=com\_content&view=article&id=14432:  
voluntary-blood-donation-must-be-improved-to-ensure-better-patient  
-outcomes&Itemid=1926&lang=es

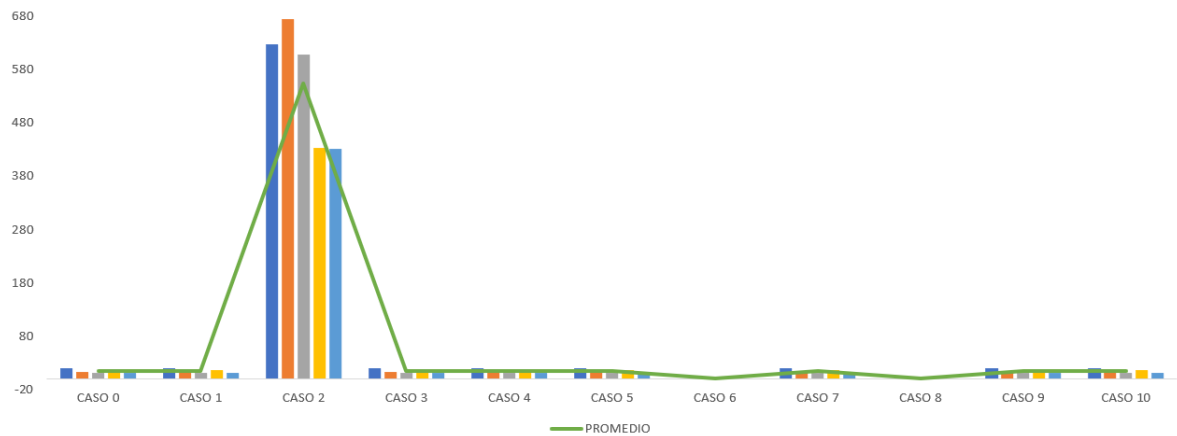
- Pegels, C. C. (2005). A blood bank collection scheduling and inventory control system. *AIIIE Transactions*, 1(1), 51–55. doi: 10.1080/05695556908974413
- Política Nacional de Sangre. (2011). Política Nacional de Sangre. , 54.
- Red Nacional de Sangre. (2019). Boletín Red Distrital de Sangre. 2019. , 1–95.
- Salcedo Moncada, B. F., Ramírez Fernández, M., Arboleda Zúñiga, J., y cols. (2017). Pronósticos de componentes sanguíneos en un hemocentro de la ciudad de santiago de cali.
- Saracoglu, I., Topaloglu, S., y Keskindurk, T. (2014). A genetic algorithm approach for multi-product multi-period continuous review inventory models. *Expert Systems with Applications*, 41(18), 8189–8202. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2014.07.003> doi: 10.1016/j.eswa.2014.07.003
- Vargas Marín, C. (2011). Uso hemocomponentes en la práctica médica e implicaciones legales. *Medicina Legal de Costa Rica*, 28(2), 43–50.



# Apéndice A

## Tablas y figuras de comparaciones experimentales

Figura A-1: Comparación de pérdidas BLSP-B



	F.O(\$)	Perdidas(unidades)	Producción(unidades)		Tiempos(s)
			Centrifugación	Aferésis	
<b>BLSP-B</b>	\$ 288.041	19	3234	3504	11,36
<b>BLSP-CT</b>	\$ 304.214	19	3234	3504	17,48
<b>BLSP-NCT</b>	\$ 387.286	64	2799	2956	720,42

**Tabla A-1:** Resultados Caso 0

	F.O		Pérdidas		Producción		Tiempos	
	C7	C1	C7	C1	C7	C1	C7	C1
<b>BLSP-CT</b>	+20 %	+28 %	0 %	0 %	+9 %A	+15 %A	-7 %	+400 %
<b>BLSP-NCT</b>	+10 %	+4 %	0 %	-19 %	-2 %A	+11 %A	+4 %	-19 %

**Tabla A-2:** Comparación Casos demanda

	F.O		Pérdidas		Producción		Tiempos	
	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
<b>CT</b>	+592 %	+10 %	+ 3195 %	0 %	+101 %C	+65 %A	+58 %	+10 %
<b>NCT</b>	+314 %	+5 %	+639 %	0 %	+74 %C	+49 %A	+6 %	+7 %

**Tabla A-3:** Comparacion Casos Capacidad

	F.O		Pérdidas		Producción		Tiempos	
	C5	C6	C5	C6	C5	C6	C5	C6
<b>CT</b>	+4 %	-8 %	0 %	0 %	+15 %A	+22 %A	-8 %	-55 %
<b>NCT</b>	+3 %	-36 %	0 %	0 %	+18 %A	+23 %A	-24 %	-86 %

**Tabla A-4:** Comparación Casos almacenamiento de inventario

	<b>F.0</b>	<b>Pérdidas</b>	<b>Producción</b>	<b>Tiempos</b>
			<b>C8</b>	
<b>CT</b>	-9 %	-100 %	+15 %A	-52 %
<b>NCT</b>	-36 %	-100 %	+23 %A	-83 %

**Tabla A-5:** Comparación casos inventario inicial

	<b>F.O</b>				<b>Pérdidas</b>				<b>Producción</b>				<b>Tiempos</b>			
	C4	C9	C10	C11	C4	C9	C10	C11	C4	C9	C10	C11	C4	C9	C10	C11
<b>CT</b>	+4%	-14%	+20%	+3%	0%	0%	0%	0%	+10%A	+8%A	+9%A	+8%A	-14%	+9%	-21%	+8652%
<b>NCT</b>	+11%	-42%	+14%	+1%	0%	0%	0%	0%	+37%A	+6%A	+18%A	+6%A	-9%	+15%	-13%	+2%

**Tabla A-6:** Comparación casos costos

Modelo BLSP-G	F.O	Producción		Perdidas	Tiempo(s)
		Centrifugación	Aféresis		
G01	\$ 288.041	3234	3504	19	11,36
G02	\$ 289.657	2679	3839	13	8,218
G03	\$ 280.040	2922	3712	10	16,492
G04	\$ 271.539	3633	3239	16	8,99
G05	\$ 259.290	3195	3278	11	17,19
G11	\$ 368.707	4101	4731	19	11,8
G12	\$ 371.023	3360	5158	13	8,28
G13	\$ 361.067	3681	4962	10	13,7
G14	\$ 347.709	4590	4379	16	10,2
G15	\$ 333.653	4029	4401	11	14,97
G21	\$ 2.088.340	5055	2520	626	21,07
G22	\$ 2.224.700	4659	2519	673	522,56
G23	\$ 2.028.800	4710	2520	606	19,73
G24	\$ 1.497.120	4878	2520	431	20,86
G25	\$ 1.493.520	4452	2520	430	22,49
G31	\$ 317.843	2490	4111	19	12,49
G32	\$ 298.362	2373	4021	13	12,13
G33	\$ 289.080	2496	3959	10	19,37
G34	\$ 314.296	2520	4161	16	12,01
G35	\$ 276.055	2520	3707	11	18,49
G41	\$ 300.077	3207	3531	19	9,9
G42	\$ 297.280	2640	3878	13	8,33
G43	\$ 288.356	2760	3843	10	12,51
G44	\$ 287.725	3525	3343	16	10,05
G45	\$ 276.254	2991	3414	11	13,83
G51	\$ 298.486	3234	3707	19	9,45

Modelo BLSP-G	F.O	Producción		Perdidas	Tiempo(s)
		Centrifugación	Aféresis		
<b>G52</b>	\$ 302.028	2679	4968	13	9,89
<b>G53</b>	\$ 287.374	2787	3907	10	10,37
<b>G54</b>	\$ 281.169	3633	3444	16	9,99
<b>G55</b>	\$ 261.650	3195	3412	11	9,48
<b>G61</b>	\$ 263.915	3216	3909	0	7,21
<b>G62</b>	\$ 278.375	2637	4254	0	6,39
<b>G63</b>	\$ 270.830	2877	4079	0	6,64
<b>G64</b>	\$ 251.912	3585	3646	0	6,89
<b>G65</b>	\$ 244.751	3177	3588	0	6,55
<b>G71</b>	\$ 345.819	4002	4346	19	10,21
<b>G72</b>	\$ 353.218	3207	4826	13	9,24
<b>G73</b>	\$ 340.438	3450	4649	10	14,25
<b>G74</b>	\$ 331.862	4281	4149	16	10,5
<b>G75</b>	\$ 309.452	3756	4039	11	18,87
<b>G81</b>	\$ 260.669	3339	3831	0	6,97
<b>G82</b>	\$ 276.250	2760	4194	0	8,13
<b>G83</b>	\$ 269.763	3000	4038	0	6,18
<b>G84</b>	\$ 250.845	3708	3605	0	7,77
<b>G85</b>	\$ 243.684	3300	3547	0	7,92
<b>G91</b>	\$ 244.341	3234	3504	19	12,19
<b>G92</b>	\$ 257.357	2679	3839	13	9,79
<b>G93</b>	\$ 254.390	2922	3712	10	16,93
<b>G94</b>	\$ 233.539	3633	3239	16	11,73
<b>G95</b>	\$ 233.640	3195	3278	11	17,08

Modelo BLSP-G	F.O	Producción		Perdidas	Tiempo(s)
		Centrifugación	Aféresis		
<b>G101</b>	\$ 350.168	3222	3508	19	9,26
<b>G102</b>	\$ 340.529	2613	3861	13	9
<b>G103</b>	\$ 331.474	2475	3886	10	14,19
<b>G104</b>	\$ 339.689	3459	3299	16	8,75
<b>G105</b>	\$ 316.357	2814	3454	11	10,16

**Tabla A-7:** Resultados BLSP-B

Modelo BLSP-CT	F.O	Producción		Perdidas	Tiempo(s)
		Centrifugación	Aféresis		
CT01	\$ 304.214	3234	3504	19	17,48
CT02	\$ 305.515	2679	3839	13	16,65
CT03	\$ 296.064	2922	3712	10	17,18
CT04	\$ 287.905	3633	3239	16	16,49
CT05	\$ 275.084	3195	3278	11	20,21
CT11	\$ 387.884	4101	4731	19	15,72
CT12	\$ 389.750	3360	5158	13	14,629
CT13	\$ 379.974	3681	4962	10	15,971
CT14	\$ 367.083	4590	4379	16	15,86
CT15	\$ 352.254	4029	4401	11	17,45
CT21	\$ 2.105.720	5055	2520	626	27,59
CT22	\$ 2.241.500	4659	2519	673	652,65
CT23	\$ 2.045.680	4710	2520	606	25,72
CT24	\$ 1.514.240	4878	2520	431	27,1
CT25	\$ 1.510.030	4452	2520	430	24,93
CT31	\$ 333.820	2490	4111	19	19,26
CT32	\$ 314.042	2373	4021	13	20,19
CT33	\$ 304.847	2496	3959	10	22,28
CT34	\$ 330.388	2520	4161	16	18,76
CT35	\$ 291.495	2520	3707	11	20,85
CT41	\$ 316.250	3207	3531	19	15,01
CT42	\$ 313.138	2640	3878	13	15,02
CT43	\$ 304.335	2760	3843	10	17,16
CT44	\$ 304.085	3525	3343	16	14,32
CT45	\$ 291.950	2991	3414	11	17,97



Modelo BLSP-CT	F.O	Producción		Perdidas	Tiempo(s)
		Centrifugación	Aféresis		
CT51	\$ 314.951	3234	3707	19	16,02
CT52	\$ 318.214	2679	4968	13	12,03
CT53	\$ 303.484	2787	3907	10	16,56
CT54	\$ 297.828	3633	3444	16	14,61
CT55	\$ 277.636	3195	3412	11	11,95
CT61	\$ 280.644	3216	3909	0	7,91
CT62	\$ 294.768	2637	4254	0	8,2
CT63	\$ 287.316	2877	4079	0	8,22
CT64	\$ 268.793	3585	3646	0	7,63
CT65	\$ 260.963	3177	3588	0	7,36
CT71	\$ 364.302	4002	4346	19	16,28
CT72	\$ 371.249	3207	4826	13	16,42
CT73	\$ 358.564	3450	4649	10	19
CT74	\$ 350.463	4281	4149	16	21,3
CT75	\$ 327.141	3756	4039	11	19,4
CT81	\$ 277.462	3339	3831	0	8,39
CT82	\$ 292.734	2760	4194	0	8,25
CT83	\$ 286.367	3000	4038	0	8,58
CT84	\$ 267.844	3708	3605	0	8,5
CT85	\$ 260.013	3300	3547	0	9,17
CT91	\$ 260.514	3234	3504	19	19,05
CT92	\$ 273.215	2679	3839	13	18,94
CT93	\$ 270.414	2922	3712	10	20,61
CT94	\$ 249.905	3633	3239	16	19,62
CT95	\$ 249.434	3195	3278	11	22,78

Modelo BLSP-CT	F.O	Producción		Perdidas	Tiempo(s)
		Centrifugación	Aféresis		
CT101	\$ 366.330	3222	3508	19	13,86
CT102	\$ 356.324	2613	3861	13	14,88
CT103	\$ 347.107	2475	3886	10	15,86
CT104	\$ 355.891	3459	3299	16	16,62
CT105	\$ 331.856	2814	3454	11	15,85
CT111	\$ 312.301	3234	3504	19	18,09
CT112	\$ 313.443	2679	3839	13	17,02
CT113	\$ 304.076	2922	3712	10	18,04
CT114	\$ 296.088	3633	3239	16	18,27
CT115	\$ 282.980	3195	3278	11	21,9
CT121	\$ 288.041	3234	3504	19	19,6
CT122	\$ 289.657	2679	3839	13	13,36
CT123	\$ 280.040	2922	3712	10	17,87
CT124	\$ 271.539	3633	3239	16	17,93
CT125	\$ 259.290	3195	3278	11	16,6

**Tabla A-8:** Resultados BLSP-CT

Modelo BLSP-NCT	F.O	Producción		Perdidas	Tiempo(s)
		Centrifugación	Aféresis		
NCT01	\$ 387.286	2799	2956	64	720,42
NCT11	\$ 420.510	3630	4037	52	584,94
NCT21	\$ 1.603.440	4026	2310	473	764,5
NCT31	\$ 406.606	2253	3353	64	769,06
NCT41	\$ 430.878	2391	3268	64	654,16
NCT51	\$ 399.663	2799	3308	64	544,25
NCT61	\$ 246.884	2931	3608	0	97,55
NCT71	\$ 426.850	3564	3478	64	748,6
NCT81	\$ 246.884	2931	3608	0	122,5
NCT91	\$ 225.786	2799	2956	64	827,22
NCT101	\$ 439.728	2595	3066	64	626,68
NCT111	\$ 389.378	2799	2956	64	731,31
NCT121	\$ 270.650	2826	3281	19	84,28

**Tabla A-9:** Resultados BLSP-NCT