

**TOMA DE DECISIONES EN LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DE UN
BANCO DE SANGRE**

**ANDRES MAURICIO ESPITIA SILVA
RODRIGO ESTEBAN TOFIÑO RAMÍREZ
BRAYAN STEVEN PEREZ OBANDO**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
MAYO 2018**

**TOMA DE DECISIONES EN LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DE UN
BANCO DE SANGRE**

**ANDRÉS ESPITIA SILVA
RODRIGO TOFIÑO RAMÍREZ
BRAYAN STIVEN PEREZ OBANDO**

Proyecto de Grado para optar el título de Ingeniero Industrial

Director proyecto

**FERNANDO ANTONIO ARENAS GUERRERO
ANDRES FELIPE OSORIO MURIEL**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
MAYO 2018**

Contenido

	pág
RESUMEN	7
1 Introducción	8
1.1 Contexto, Justificación y Formulación del Problema	9
2 Objetivos	12
2.1 Objetivo del Proyecto	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3 Marco de Referencia	13
3.1 Antecedentes o Estudios Previos	13
3.2 Marco Teórico	14
3.3 Contribución Intelectual o Impacto del Proyecto	21
4 Metodología	23
5 Resultados	28
6 Conclusiones	34
Bibliografía	35
ANEXOS	38

Lista de Figuras

Figura 1. Cadena de abastecimiento de la sangre.....	9
Figura 2. Diagrama jerárquico de decisiones en la etapa de almacenamiento.....	17
Figura 3. Bolsa doble.....	19
Figura 4. Bolsa Triple.....	20
Figura 5. Diagrama de subsistemas del Banco de Sangre.....	24
Figura 6. Esquema general del modelo de simulación.....	25
Figura 7. Lógica para valores mensuales.....	26
Figura 8. Resumen estadístico descriptivo de la demanda del modelo.....	28
Figura 9. Resumen estadístico descriptivo de la demanda real.....	28
Figura 10. Comportamiento de la colecta y la demanda.....	31
Figura 11. Comparación de eficiencias.....	33

Lista de Tablas

Tabla 1. Bancos de sangre en Cali	20
Tabla 2. Distribuciones de probabilidad de donantes y demanda de glóbulos rojos	23
Tabla 3. Factores de conversión de donantes y demanda de glóbulos rojos	24
Tabla 4. Relaciones entre varianzas de la demanda	29
Tabla 5. Prueba de hipótesis de diferencia de medias de la demanda	30
Tabla 6. Valores P validación interna.....	30
Tabla 7. Matriz diseño de experimentos	31
Tabla 8. Comparación reglas de decisión	32

Lista de Anexos

Anexo 1. Análisis estadístico de los datos38
Anexo 2. Artículo Académico39

RESUMEN

Este trabajo presenta una aproximación de la cadena de abastecimiento de un banco de sangre, a través de un modelo de dinámica de sistemas. Tanto la recolección como la demanda de unidades de sangre del banco, se modelaron con variables aleatorias a través de datos empíricos del mismo. El análisis se centró en una regla de reposición de inventarios, que comparaba el inventario de seguridad con una demanda esperada, para realizar los despachos a los hospitales. A continuación, se realizó un análisis de sensibilidad donde se varió el porcentaje de seguridad, la política de inventarios y la forma de pronosticar la demanda. El indicador de desempeño del banco de sangre se rige por la relación entre la cantidad de unidades enviadas sobre las demandadas por los hospitales.

Palabras clave: Banco de sangre, dinámica de sistemas, cadena de abastecimiento.

1 Introducción

El suministro de sangre, es uno de los mayores retos que la salud enfrenta actualmente. El panorama en general es preocupante, incluso Bogotá, la ciudad con mayor tasa de donantes, sería incapaz de atender adecuadamente un evento catastrófico donde se requieran niveles masivos de sangre. Constantemente se presentan casos de desabastecimiento en los bancos del país. Por una parte, la cantidad de donantes no es suficiente, para el año 2014, se recolectaron aproximadamente 792.000 unidades de sangre (Osorio, Brasford, & Smith, 2015), es decir 66.000 unidades mensuales y comparando la donación con la demanda (aproximadamente 100.000 unidades mensuales) se puede ver una brecha significativa en el cumplimiento del servicio.

La cadena de abastecimiento de la sangre presenta ciertas particularidades que hacen complejo su manejo. Para empezar, existe alta incertidumbre tanto en su suministro -que está dado por donantes generalmente no regulares- como en su demanda, que depende de accidentes, partos, hemofilias, entre otros. Además, cada hemocomponente tiene un tiempo de vida útil diferente, en el caso de los glóbulos rojos es de hasta 42 días (OMS, 2014), es por esto que se utilizó la dinámica de sistemas en esta investigación como herramienta de análisis de temas complejos para tener una aproximación de la cadena.

Este trabajo, pretende centrarse en algunos aspectos conductuales que afectan el rendimiento de la cadena, particularmente, el proceso de toma de decisiones en el banco de sangre para realizar los despachos de acuerdo a la demanda de sus hospitales, específicamente los hospitales públicos. En lo que resta, se hace una descripción del modelo y se presentan y discuten, los resultados obtenidos al utilizar una regla de reposición de inventarios, a la cual se le desarrolló un análisis de sensibilidad variando la tasa de seguridad del banco de sangre, la demanda diaria y la política de inventarios; Midiendo la eficiencia del sistema como la relación entre las unidades enviadas y las unidades demandadas.

1.1 Contexto, Justificación y Formulación del Problema

El suministro de sangre, es uno de los principales problemas que enfrenta la salud actualmente. Bancos de sangre de diferentes partes del país, hacen constantemente un llamado a aumentar las donaciones y a convertir a sus usuarios en donadores frecuentes, resaltando la crítica situación que se vive. Como es el caso del Hospital La Misericordia en Bogotá, que suplente a más de 200 niños con leucemia y necesita mensualmente un aproximado de 1200 bolsas de sangre (Caracol Radio, 2018) que no siempre logra suplir. También, el Hemocentro del café, en Manizales, para inicios del año 2018, se encontraba sólo con algunas unidades disponibles para suplir la demanda. Cabe aclarar que estas eran unidades de tipo A+, sin embargo la mayor demanda de las IPS que cubre este banco, generalmente son de tipo O+ y O- (Bonilla, 2018).

Por otra parte, una transfusión puede ser requerida en cualquier momento del día y por diversas razones, por ende, los centros deben estar en capacidad de atender cualquier emergencia y tener disponibilidad de la sangre requerida sin importar las especificaciones que los pacientes presenten. Sin embargo, la realidad es otra, la disponibilidad no es garantizada en su totalidad y son múltiples los factores que conllevan a que esta necesidad no sea totalmente suplida. La durabilidad de los productos sanguíneos es el mayor problema presente en este sector, ya que cada uno posee diferentes tiempos de vida útil y generalmente no son largos, por ejemplo, un paquete de plaquetas puede durar hasta 5 días, mientras que los glóbulos rojos hasta 42 días. (Ministerio de Salud, 2017).

Además, la cadena de abastecimiento del banco de sangre es un factor determinante en la solución del problema mencionado anteriormente. El esquema de la figura 1 describe las etapas generales de esta cadena de abastecimiento:

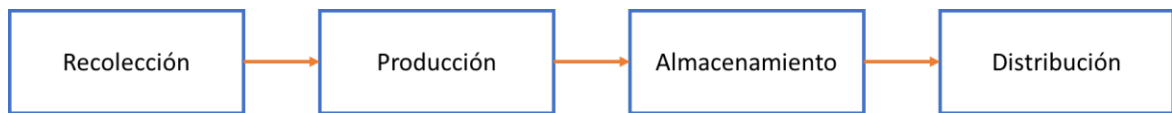


Figura 1. Cadena de abastecimiento de la sangre

Para empezar, es importante y útil ya que representa los cuatro grandes momentos de la cadena y permite comprender el camino que siguen las unidades de sangre desde el momento en que se recolectan, hasta que llegan a su destino final, es decir, el paciente. No obstante, el proceso de abastecimiento de sangre comprende subprocesos en los eslabones mucho más complejos que los presentados en ese modelo generalizado. Factores como la toma de decisiones por los involucrados y las múltiples metodologías utilizadas por los bancos de sangre en su operación, condicionan la sinergia de la cadena. Un ejemplo de ello, ocurre después de la etapa de producción y de almacenamiento, cuando las unidades van a enviarse a los centros hospitalarios, el cual consiste en verificar la compatibilidad entre la unidad

de sangre recolectada y la sangre del receptor, con el fin de no tener inventarios de unidades sin asignación sino inventario asignado al paciente que tiene la necesidad, este proceso se conoce como “crossmatching” (Osorio, Brasford, & Smith, 2015). Asimismo, existen otros factores en esta cadena que incrementan su complejidad, como la compatibilidad de la sangre, la caducidad de sus componentes en almacenamiento, factores logísticos de transporte o la cadena de frío.

Es importante reconocer que existen características especiales dentro de esta cadena que la diferencian notoriamente de una común en la industria, por ejemplo, la incertidumbre tanto en la demanda (donaciones) como en la cantidad de unidades para abastecer y la constante toma de decisiones que intervienen en cada eslabón demuestran el reto que conlleva analizar su funcionamiento. En conclusión, para entender el funcionamiento del abastecimiento de la sangre se estudia cada eslabón categorizando las decisiones que ahí se presentan, para luego analizar de forma sistémica toda la cadena y finalmente las relaciones entre ella.

Justificación:

Por cada mil habitantes se disponen de 12 unidades de sangre a nivel nacional, índice superado sólo por 5 departamentos: Bogotá (23,7), Antioquia (15,4), Tolima (23,2), Atlántico (13,4) y finalmente Valle del Cauca con 13,2 (Ministerio de la Protección Social, 2007). Además, 7 departamentos no cuentan con un banco de sangre, situación crítica si se piensa en un desastre natural o en inconvenientes con la distribución de los pedidos requeridos. Como se puede observar, el índice Nacional muestra una realidad abrumadora y el Valle del Cauca no está exento de esta, partiendo de que para el 2016 contaba con 2'394.925 habitantes en la ciudad (Administración Municipal de Cali, 2016) y apoyados en la cifra presentada anteriormente (13,2), si se espera que cada habitante pueda tener acceso por lo menos una unidad de sangre, sólo se podría cubrir el 1,32% de la población total, equivalente a 31613 personas. Como se mencionó anteriormente, una catástrofe o evento extraordinario que tenga como consecuencia el requerimiento de niveles de sangre masivos pondría en alerta roja a la ciudad, puesto que las unidades disponibles no alcanzarían a cubrir la demanda requerida y esto se transformaría en menos personas salvadas.

Se está trabajando sobre un tema social, el análisis al sector de la salud es indispensable y debe ser constante, puesto que cambia cada día y posee mucha incertidumbre en los servicios que debe prestar, nunca se sabe cuándo va a pasar un accidente o una complicación ni la naturaleza de la misma. Además de ser vital para la longevidad de cada individuo y el bienestar de la comunidad. Apoyando el concepto de Logística Humanitaria, definida como: “la planificación, implementación y control del flujo y almacenamiento eficiente y rentable de bienes y materiales, así como información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo

con el fin de aliviar el sufrimiento de personas vulnerables” (Thomas & Kopczak, 2005)

Este concepto asocia a la Ingeniería Industrial con campos en los que convencionalmente no se encuentra. No sólo para este caso con la salud, sino también para cualquier acción que requiera la intervención logística en un proceso social. Por ende, es importante seguir apoyándolo, ligando el desarrollo y el bienestar social con conocimientos que permitan comprender modelar de mejor manera la realidad y finalmente realizar las acciones pertinentes para lograr cambios efectivos.

Formulación de la pregunta de investigación u objeto de estudio

¿Qué tan efectiva es una regla de decisión heurística basado en la experiencia contra una regla de decisión basada en un modelo cuantitativo de pronóstico?

2 Objetivos

2.1 Objetivo del Proyecto

Desarrollar un modelo de simulación que permita evaluar el efecto de diversas reglas de decisión para políticas de reposición de inventario, sobre el desempeño de la cadena de abastecimiento de un banco de sangre.

2.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información sobre el abastecimiento de los bancos de sangre.
- Desarrollar el modelo de simulación.
- Validar el modelo.
- Analizar los resultados del modelo.
- Escribir un artículo académico.

Entregables

- Modelo de simulación del sistema
- Informe de análisis de validación y evaluación del modelo.
- Artículo con formato de revista académica.

3 Marco de Referencia

3.1 Antecedentes o Estudios Previos

La cadena de suministro de sangre ha sido objeto de múltiples estudios a nivel internacional, los cuales después de un análisis exhaustivo se han podido clasificar dependiendo sus características y sus enfoques. Por ejemplo, se han clasificado dependiendo varios factores como: el tipo de producto y hemocomponentes a analizar, el tipo de problema que se quiere resolver, el método de solución, el criterio de utilización de un enfoque de aproximación heurístico contra un enfoque de solución exacta. En ese orden de ideas, se puede inferir que existen diferentes caminos para abordar un problema relacionado con el suministro de sangre, entre los que se incluye la tendencia en aumento de analizar el problema por medio de un camino indirecto como lo es el factor humano en la toma de decisiones en los eslabones de la cadena. Asimismo, se considera pertinente incluir el factor humano y su conducta, teniendo en cuenta las características especiales que conlleva el abastecimiento de sangre (Beliën & Forcé, 2012)

La mayoría de los estudios del tema se realizaron con base en modelos matemáticos que ayudan a la toma de decisiones en la cadena de abastecimiento de la sangre. Por ejemplo, en la recolección del fluido se utilizó un modelo de optimización multiobjetivo en pro de la disminución de costos asociados a la adquisición y al manejo de tecnología necesaria para realizar el proceso de recolección. Paralelamente, se buscó disminuir la utilización de donantes en la obtención del recurso vital escaso, que se necesita en los bancos de sangre de lo cual es pertinente observar que el uso de conocimientos de otras áreas distintas a salud, aportan metodologías con bases fuertes, para una gestión más eficiente de las partes que comprenden el abastecimiento de sangre. Sin embargo, existen factores inherentes al proceso que condicionan la exactitud y el éxito de un modelo, como el actuar del tomador de decisiones, variable que en este modelo se tuvo en cuenta en el incremento que pudiese dar el decisor en un parámetro de la optimización (Osorio Muriel, Brailsford, & Smith, 2014)

Diferentes instituciones académicas se han vinculado al estudio de la sangre por medio de herramientas como la simulación de sistemas como apoyo para complementar los conocimientos adquiridos en la academia permitiendo evaluar el comportamiento de sus estudiantes al momento de tomar decisiones en un juego denominado Blood supply chain con la información que logran extraer de los sistemas y de las interrelaciones de la cadena de suministros (Katsaliakia, Mustafee, & Kumar, 2014)

Sin embargo, existen diversas dificultades que hacen que su implementación sea tediosa puesto que no solo basta con entender el trasfondo matemático que hay en el modelo, sino también cómo funciona la herramienta Blood supply chain la cual se

creó para tratar eventos de simulación discreta que permitieran predecir eventos, realizando una simulación de sistemas, para tomar las mejores decisiones operativas desde la perspectiva del distribuidor dentro de la cadena de abastecimiento de la sangre (Katsaliakia, Mustafee, & Kumar, 2014). Estas simulaciones de sistemas se pueden llevar a cabo en tiempo real porque, gracias a la simulación distribuida, pueden acelerar la ejecución de un conjunto de simulaciones permita reunir información pertinente de los diversos sistemas (Cabrera Santana, Mateo Pla, & Pons Terol, 2004).

Además, se han realizado avances referentes al abastecimiento de sangre con un enfoque preventivo, es el caso de una investigación que buscó determinar un modelo de sistema dinámico complejo para responder frente a una emergencia o catástrofe, en este caso, un terremoto. De este modo, es importante resaltar que el modelo se realizó enfocado en disminuir los costos asociados al almacenamiento, transporte y recolección de sangre y así soportar una decisión en cuanto a ubicación y asignación del inventario frente a una catástrofe. Es un ejemplo a seguir en países que puedan presentar una demanda fluctuante o con un crecimiento fortuito como Colombia, el cual es un país con índices de violencia altos. De igual forma, da pie a la investigación de un modelo para un sistema dinámico complejo que pueda traducirse en aumentar la eficiencia en cuanto a localización y capacidad de bancos de sangre. (Jabbarzadeh, Fahimnia, & Seuring, 2014).

Por otra parte, en Colombia se ha desarrollado una propuesta de modelo de respuesta estratégica de la Red Nacional de Bancos de Sangre y Servicios Transfusionales de Colombia (RedSangre) ante escenarios de desastre basada en un modelo matemático de regresión lineal. Primeramente se caracterizó el sistema de sangre para Colombia y bajo la normativa legal, se plantea un modelo sobre el cual puede apoyarse la RedSangre para la toma de decisiones en caso de una catástrofe, finalmente propone alternativas y sugerencias para los bancos de sangre con el fin de mejorar su funcionamiento y estabilidad (Cabrera Santana, Mateo Pla, & Pons Terol, 2004) Este modelo permite direccionar la investigación a un contexto más local, reconocer y dimensionar la situación actual de los bancos de sangre así como su funcionamiento logístico y por último identificar puntos críticos en la cadena de suministro de la sangre. (Dueñas, 2003)

3.2 Marco Teórico

Caracterización de la sangre

La sangre es un fluido de carácter vital que recorre el cuerpo humano transportando células que contienen nutrientes y oxígeno necesarios a todos los órganos y tejidos del cuerpo (Cruz Roja Colombiana, 2014). Asimismo, no se puede producir sangre artificialmente, ya que es generada por la médula ósea, su única obtención es por medio de donaciones, de ahí la dificultad para obtener tan importante y escaso recurso.

La sangre se compone de diferentes células especiales y cada una tiene ciertas características funcionales y variables a tener en cuenta a la hora de un almacenamiento y disposición, estos componentes son: los glóbulos rojos, los cuales se encargan de llevar el oxígeno a todas las partes del cuerpo. Luego, están los glóbulos blancos que se encargan de combatir y eliminar los agentes exógenos al cuerpo. También, la sangre se compone de plaquetas las cuales se encargan del proceso de regeneración para una hemorragia, y por último, está el plasma, el cual se refiere al líquido en el que los demás componentes se encuentran y se transportan.

En ese orden de ideas, cada componente tiene un manejo distinto tanto para ser extraído como para ser almacenado. Es por esto que la vida útil de los componentes de la sangre tiende a ser muy variable. Sin embargo, bajo condiciones ideales tanto de extracción, como de almacenamiento, se espera que los glóbulos rojos tengan una vida útil de hasta 42 días, las plaquetas de hasta 5 días, el plasma de hasta 360 días y los glóbulos blancos varían de horas a días dependiendo de su naturaleza. (Dueñas, 2003)

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, Como se puede observar en la tabla 1, la sangre o- es el donante universal, es decir, puede ser utilizada para todas las personas. Sin embargo, se debe ser objetivo al momento de realizar el modelo tentativo, puesto que se podría pensar en enfocar una mayor cantidad de recursos a recolectar este tipo de sangre y este sesgo podría conllevar a malas decisiones, ya que en realidad no se puede disponer de gran cantidad de donantes

Cadena de Abastecimiento de la Sangre

Como se mencionó anteriormente, la cadena de abastecimiento de la sangre posee particularidades que hacen de su desempeño un esquema complejo en cada eslabón, a continuación, se presentarán los diversos componentes de la cadena y la interacción con su rendimiento.

Toma de decisiones

Existen diferentes categorizaciones para las decisiones que se toman en cada eslabón de la cadena de abastecimiento de la sangre y estas dependen de la forma en que se quiera analizar la misma. Particularmente, para presentar una clasificación general se pueden separar en tres niveles de importancia, ya que una decisión de un nivel más alto afectará las decisiones que se tomen en un nivel más bajo. Análogamente, estas clasificaciones de importancia son acordes al tiempo de planeación de la organización, donde un largo plazo pertenece al nivel más alto y a su vez comprende decisiones de tipo estratégico. Luego, está el nivel dos de importancia el cual abarca decisiones de tipo táctico con un tiempo medio de planeación. Por último, están las decisiones de tipo operacional, las cuales en su mayoría comprenden un tiempo de planeación corto o son estipuladas en la operación del día a día. (Osorio, Brasford, & Smith, 2015)

Recolección:

La etapa de recolección consiste en el proceso que se realiza para la obtención del fluido de los donantes en pro de suplir la demanda presentada. Este eslabón comprende decisiones que se acogen a la clasificación adoptada, es decir, se encuentran decisiones de tipo estratégico en el nivel uno de importancia como la ubicación de los puntos de colecta, la definición del personal que trabaja en la colecta, entre otras. Cabe aclarar que son decisiones que van acordes a un plan de gestión de largo plazo de la organización encargada de este proceso. Luego, en referencia al nivel dos de decisiones y con un mediano tiempo de planeación, se definen las políticas a utilizar en campañas de recolección, métodos de acomodación del personal, el arribo de donantes entre otros. Por último, existen decisiones en esta etapa del proceso que consisten en decisiones que se toman para llevar a cabo la operación del día, como la programación diaria de donantes, como los objetivos de recolección, las rutas de colecta entre otros (Osorio, Brasford, & Smith, 2015). Estas decisiones ocurren en el proceso de transporte de la sangre, desde que se tiene un donante, pasando por su llegada al centro de recolección y registro, luego en la realización de la colecta y finalmente el transporte al banco como una unidad de sangre. Cabe aclarar que este proceso depende del tipo de puesto de recolección que se maneje: Puesto móvil o puesto fijo de recolección. El primero se encarga de recolectar no sólo sangre en total sino también que posee la tecnología necesaria para extraer algunos de sus componentes, por otra parte, el segundo se encarga únicamente de recolectar sangre en su totalidad. (Angarita Buitrago & Borda Moreno, 2014)

Producción:

Este eslabón comprende el recibimiento de la sangre en el banco donde se le realiza un chequeo y se fracciona en los distintos componentes que tiene la unidad donada hasta llegar a ser un producto de sangre almacenado en el inventario. Al igual que en la anterior etapa existen decisiones que definen la logística a utilizar, por ejemplo, las decisiones estratégicas se enfocan principalmente en la ubicación y la capacidad de los bancos de sangre para determinar un sistema de inventario. De igual forma, en un nivel menor, decisiones de mediano tiempo de planeación como planes de producción, políticas de fraccionamiento de componentes son llevadas a cabo. Finalmente, en el último nivel se encuentran las decisiones de tipo operacional de producción como los horarios y turnos de personal, y en general decisiones que se toman con un tiempo corto de planeación.

Almacenamiento:

Condiciones inherentes de los productos de la sangre en inventario como la condición de ser perecederos y procesos necesarios como la asignación de inventario “crossmatching” incrementan la complejidad de esta etapa de la cadena de abastecimiento de la sangre. La figura 2, expone un diagrama donde se evidencia el nivel adoptado de las decisiones que tengan lugar en esta etapa. En ese orden de ideas, decisiones de primer nivel como la capacidad, la ubicación y los sistemas de información y de trazabilidad en el banco de sangre, traducidos en un sistema de inventarios que en teoría debería ser efectivo de modo que disminuya problemas como el desabastecimiento de sangre y el sobreabastecimiento, son

claves para el correcto desarrollo de este eslabón. Luego, decisiones enfocadas en una política de inventarios, en la ubicación del personal y en la forma de realizar asignaciones, deben ser tenidas en cuenta como de mediano tiempo de planeación. Por último, decisiones elementales como la cantidad diaria de órdenes, el modo de actuar frente a órdenes especiales y las unidades a emitir, hacen parte del último nivel que abarca las decisiones de tipo operacional,

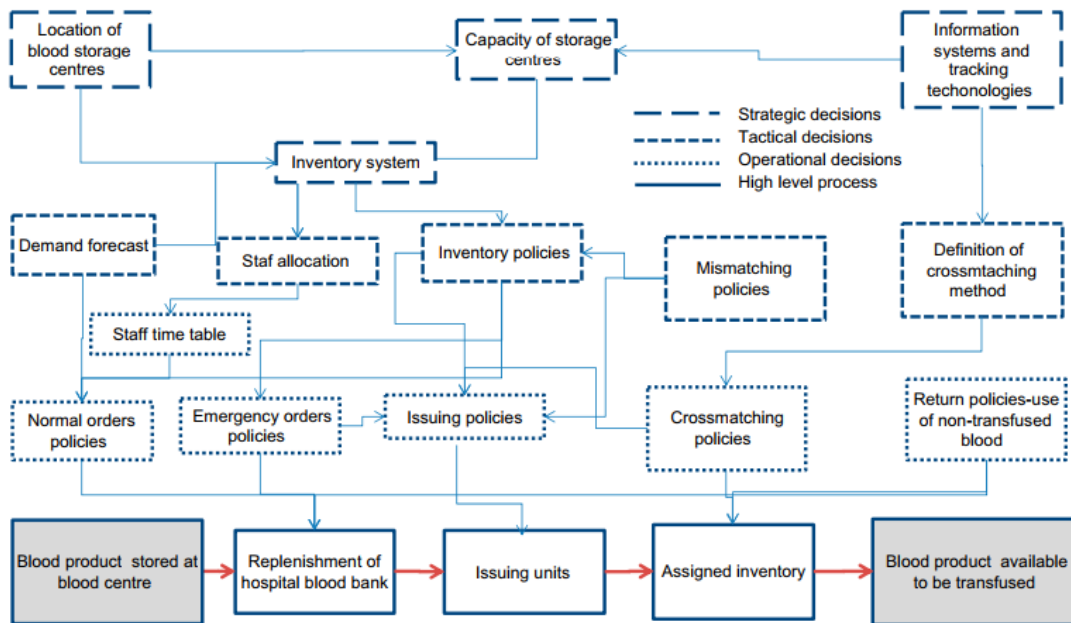


Figura 2. Diagrama jerárquico de decisiones en la etapa de almacenamiento

Fuente: Osorio, A. F., Brasford, S. C., & Smith, H. K. (2015). A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision-making. *International Journal of Production Research*.

Distribución:

Esta etapa comprende los subprocesos que se llevan a cabo para abastecer al paciente con los productos de sangre disponibles para ser transportados desde el almacenamiento del banco de sangre hasta que llega al paciente (consumidor final) quien es el que tiene la necesidad que en la mayoría de los casos es de carácter vital y es ahí donde se puede medir el éxito de la cadena de abastecimiento, ya que se debe cumplir con la obtención de la unidad de sangre para la necesidad presentada por los hospitales. De igual forma, decisiones tan importantes como determinar la cantidad de unidades de sangre a pedir al banco de sangre por parte del hospital, y se realiza con base en diferentes criterios en su mayoría basados en conocimientos empíricos de funcionamiento de la organización, en pronósticos y en bases de datos. Luego de haber realizado el pedido, se generan otras actividades en las que se encuentran decisiones acordes a la clasificación adoptada. Por ejemplo, decisiones de largo plazo que involucran la definición del personal, los tipos de vehículos a utilizar y la capacidad. Luego, y condicionadas por las decisiones del primer nivel, se encuentran las de tipo logístico como ruteo y ubicación de vehículos.

Finalmente, en el último nivel se encuentran las decisiones de tipo operacional como los cronogramas de entrega, cómo actuar frente a órdenes de emergencia, entre otros.

Cadena de frío de la sangre

La cadena de frío de la sangre está conformada por una serie de procesos sistemáticos que garanticen la conservación y la distribución adecuada de la sangre desde que se extrae del donante, hasta que realiza la transfusión. Esta distribución se realiza mediante un vehículo con modificaciones específicas que le permitan tener la sangre a 4°C para prolongar su vida útil y poder reducir la contaminación bacteriana a través de toda la cadena de abastecimiento de la sangre. (Organización Mundial de la Salud, 2004)

Glóbulos rojos

Los glóbulos rojos son uno de los componentes de la sangre que se encargan de transportar oxígeno a los tejidos del cuerpo para intercambiarlo por CO² y expulsarlo mediante la exhalación pulmonar. Los glóbulos rojos se producen en la médula ósea roja, cabe resaltar que el cuerpo es capaz de producir alrededor de 2 millones de células sanguíneas cada 2 segundos. (Martin, 2016)

Bancos de sangre

Según el decreto 1571 de 1993, se define como banco de sangre a todo establecimiento o dependencia con licencia sanitaria en funcionamiento para adelantar actividades relacionadas con la obtención, el procesamiento y el almacenamiento de sangre humana para la obtención, el procesamiento y el almacenamiento de la sangre, 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. (Presidencia de la República, 1993) Asimismo, los bancos de sangre están en la capacidad de extraer, preparar y almacenar diversos hemoderivados como:

- ❖ Concentrado de glóbulos rojos
- ❖ Concentrado de plaquetas
- ❖ Plasma fresco congelado
- ❖ Plasma Simple

No obstante, estos establecimientos deben contar con una infraestructura específica que les permita tener un funcionamiento adecuado. Estos bancos de sangre deben tener dentro de sus instalaciones al menos un laboratorio que tenga, entre otros dispositivos, un congelador y una nevera con las cuales se pueda

controlar y llevar un registro de la temperatura que debe ser inferior a los 18 grados celsius, en el caso del primero, y entre 1 y 6 grados celsius en el caso del segundo, donde si sube la temperatura se activa un sistema de alarma audible que alerta cambios próximos al límite en que el componente almacenado puede deteriorarse. (Presidencia de la República, 1993)

Además, estos laboratorios deben contar con los diversos sistemas cerrados de bolsas plásticas para la recolección de la sangre que les permita extraer cada uno de los componentes de manera segura. Por ejemplo, si se quiere extraer glóbulos rojos de la bolsa, es recomendable realizar el proceso con la bolsa doble (Figura 3) que permite realizar el proceso de centrifugado a 4 - 5 °C de temperatura. (Dueñas, 2003)

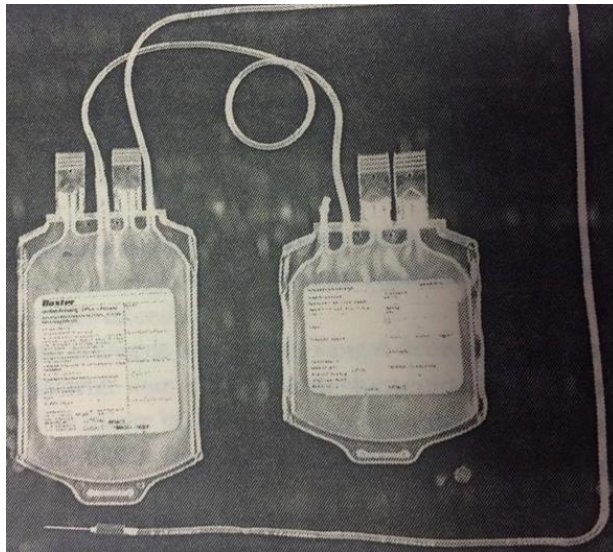


Figura 3. Bolsa doble

Fuente: Dueñas V. (2003). *El Banco de Sangre*, Cali: Programa editorial Universidad del Valle.

Si lo que se desea es extraer concentrados de plaquetas, se debe utilizar una sangre que no haya excedido las 8 horas desde su recolección. Además de ser recolectada con una bolsa triple (figura 4), esta sangre debe estar a una temperatura entre los 22-24 °C para garantizar una extracción adecuada del insumo. (Dueñas, 2003)

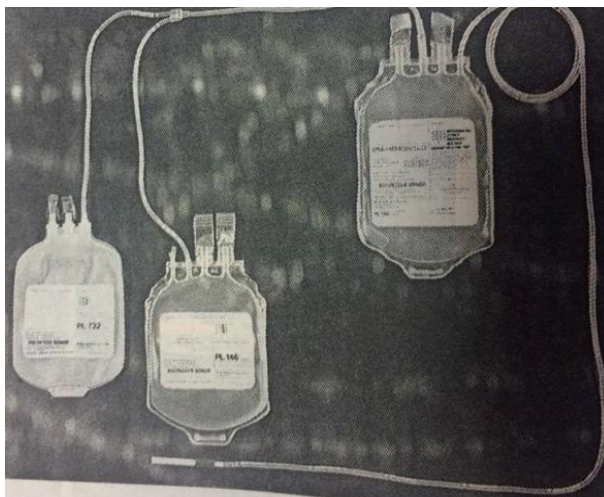


Figura 4. Bolsa Triple

Fuente: Dueñas V. (2003). *El Banco de Sangre, Cali: Programa editorial Universidad del Valle.*

Por otra parte, en Colombia se cuenta con 83 bancos de sangre registrados formalmente y con 441 servicios de transfusión no inscritos ante las entidades territoriales correspondientes, quienes se encargan de realizar las visitas de habilitación e inscripción necesarias. Los bancos públicos representan el 39,8% del total, es decir 33 espacios, mientras que el sector privado cuenta con 41 (49,4%), los 9 restantes se distribuyen con 6 de la Cruz Roja (7,2%) y 3 de las fuerzas militares (3,6%) (Instituto Nacional de Salud, 2014). En Cali, se ubican 7 bancos de sangre, los cuales son:

BANCOS DE SANGRE EN CALI
Banco de Sangre del Cauca S.A.
E.S.E. Hospital Universitario San José
Fundación Valle de Lili
Cosmitet Ltda.
Hemocentro Cruz Roja Colombiana
Hemocentro Valle del Cauca - Banco de Sangre del Hospital Universitario del Valle Evaristo
Fundación Banco Nacional de Sangre Hemolife

Tabla 1. Bancos de sangre en Cali

Fuente: Instituto Nacional de Salud. (2014). *Informe Nacional de Indicadores. Red Nacional de Bancos de Sangre y Servicios de Transfusión.* Bogotá: Instituto Nacional de Salud.

Política Nacional de Sangre: Este documento es presentado por el Ministerio de Salud y fue diseñado con miembros de las principales entidades de sangre en

Colombia como la Institución Nacional de Salud (INS), algunas secretarías departamentales de salud, el Invima y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Está dividido en 5 ejes: acceso y equidad, solidaridad, seguridad, contexto de la política y ejes, estrategia y líneas de acción. Se espera sirva de derrotero para las diferentes partes de la cadena de suministro de la sangre. Además de responder a los problemas que actualmente presenta el país en este campo.

Resolución 0901 de 1996 “por la cual se adopta el manual de normas técnicas, administrativas y de procedimientos para bancos de sangre.” Fue la primera unificación de procesos con el fin de estructurar adecuadamente la organización y el funcionamiento de los bancos de sangre y servicios de transfusión. Este recopila datos técnicos que se practican diariamente en los bancos de sangre con el fin de disminuir los riesgos tanto de los donantes como de los pacientes.

También diferentes circulares emitidos por el INS en pro de un mejoramiento continuo en la gestión y logística de la sangre. Como la circular 002 del 2006 que recomienda las capacitaciones que debe tener el personal de un banco de sangre y servicio de transfusión de acuerdo a las áreas presentes en el mismo. Además de una emitida este año por el mismo ente con recomendaciones actualizadas “para mantener la disponibilidad de sangre y hemocomponentes ante eventos que aglomeren población.” (Instituto Nacional de Salud, 2017)

Dinámica de sistemas complejos

La dinámica de sistemas complejos, es el conjunto de procedimientos orientados al modelado y a la simulación de sistemas complejos, por medio de computadores. Diseñados principalmente para poder comprender cómo están afectando y transformando el mundo algunas variables difíciles de analizar como la velocidad con la que cambian los sistemas económicos, tecnológicos, sociales y ambientales. Estos sistemas dinámicos se basan en la teoría de la dinámica no lineal y el control de la retroalimentación se sustenta en las matemáticas, la física y la ingeniería. A pesar de ello, para lograr un entendimiento adecuado de los sistemas dinámicos complejos se deben tener en cuenta los siguientes 3 aspectos: Primero, una herramienta que permita recrear los esquemas mentales acerca de la naturaleza de los problemas complejos. Luego, modelos formales y métodos de simulación para probar y desarrollar los modelos mentales, diseñar nuevas políticas empresariales y desarrollar nuevas habilidades. Finalmente, métodos que permitan enriquecer las habilidades de razonamiento científico y mejorar procesos grupales (Sterman, 2000)

3.3 Contribución Intelectual o Impacto del Proyecto

Como se evidenció anteriormente, se han realizado diversos estudios sobre el funcionamiento de la red de sangre a nivel nacional e internacional. Sin embargo, ninguna investigación local (Dentro de lo que se investigó) muestra el enfoque que este proyecto espera desarrollar: el análisis mediante la dinámica de sistemas. Es

un punto de vista diferente de los actuales, enfocado precisamente a la toma de decisiones del banco de sangre, mediante técnicas y herramientas específicas, diferentes a las utilizadas en casos anteriores. Por otra parte, los resultados servirán al banco de sangre evaluado, con el fin de identificar las falencias que estos presenten y posteriormente, realizar las correcciones pertinentes para mejorar su sistema, una mejora en el sistema implica un uso más apropiado de este recurso escaso y vital. De lo anterior se propone que esta investigación genera una perspectiva real de la red de sangre de Cali y aporta información útil para su estudio. Además sirve como guía para la implementación de futuras investigaciones, también en las instituciones que pretendan presentar cadenas de suministro de alta complejidad y finalmente como base para un probable modelo genérico de evaluación de los bancos de sangre en futuras investigaciones.

4 Metodología

Para cumplir con los objetivos propuestos de forma lógica y coherente se plantea la siguiente metodología:

4.1 Recopilación de información del abastecimiento de un banco de sangre

En primera instancia se hizo necesaria la revisión y análisis de diferentes fuentes bibliográficas para conocer las particularidades y requerimientos de la cadena de abastecimiento de la sangre, así como las posibles variables presentes en la misma. Para ello, se tuvo en cuenta diferentes autores académicos e informes de organizaciones internacionales y nacionales, como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Instituto Nacional de Salud, la Cruz Roja Colombiana, el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Salud de Colombia. Parte fundamental del proyecto, debido a que permitió definir y contextualizar las bases sobre las que se sustenta la realización de un modelo genérico enfoque de la investigación

Para modelar el comportamiento de la recolección y demanda de un banco de sangre, se utilizaron las distribuciones de probabilidad diaria, tanto de donantes de glóbulos rojos como de su demanda, evidenciadas en la tabla 2, obtenidas de una revisión bibliográfica exhaustiva de los estudios cuantitativos acerca del abastecimiento de la sangre.

Day	Donors	RBC
Sunday	Lognormal(90.725,45.635,0)	Gamma(3.6582,19.145,0)
Monday	Triangular(0,172.01,116)	triangular(0,132,250.37)
Tuesday	Gamma(14.908,7.406, 0)	Gamma(10.466,12.198,0)
Wednesday	Gamma(12.853,9.96,0)	Weibull(3.457,132.19,0)
Thursday	Weibull(3.3489,145.3,0)	Gamma(10.277,11.586,0)
Friday	Gamma(10.47,9.8342,0)	Gamma(13.781,11.601,0)
Saturday	Weibull(1.8248,57.18,0)	Gamma(6.6579,10.279,0)

Tabla 2. Distribuciones de probabilidad de donantes y demanda de glóbulos rojos

Fuente: Osorio, A. F., Brasford, S. C., & Smith, H. K. (2015). A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision-making. *International Journal of Production Research*

De igual forma, se tuvo en cuenta un factor de conversión mensual evidenciado en la tabla 3, para recolección y para demanda, el cual multiplica el valor obtenido de las distribuciones diarias por una ponderación mensual realizada con base en la relación entre los donantes mensuales y los donantes promedio; siguiendo la misma lógica para la demanda de glóbulos rojos. Con las distribuciones de probabilidad y su respectivo factor de conversión mensual se garantiza tener un valor coherente para cada mes.

Month	Donors	Demand RBC
jun.-13	2895	3603
jul.-13	3752	3863
ag.-13	2876	3579
set.-13	3183	3310
oct.-13	2953	2518
nov.-13	2242	2659
dic.-13	2213	3648
ene.-14	3169	5282
febr.-14	3093	3963
mzo.-14	3449	2992
abr.-14	3529	2992
my.-14	2897	2790
Promedio	3021	3433

Factor Donors	Factor RBC
0.843	1.049
1.093	1.125
0.838	1.042
0.927	0.964
0.860	0.733
0.653	0.774
0.645	1.063
0.923	1.538
0.901	1.154
1.005	0.871
1.028	0.871
0.844	0.813

Tabla 3. Factores de conversión de donantes y demanda de glóbulos rojos
Fuente: Osorio, A. F., Brasford, S. C., & Smith, H. K. (2015). A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision-making. *International Journal of Production Research*

Por otra parte, se seleccionaron las variables pertinentes del modelo con base en el funcionamiento general que presenta el siguiente diagrama de subsistemas general del modelo.

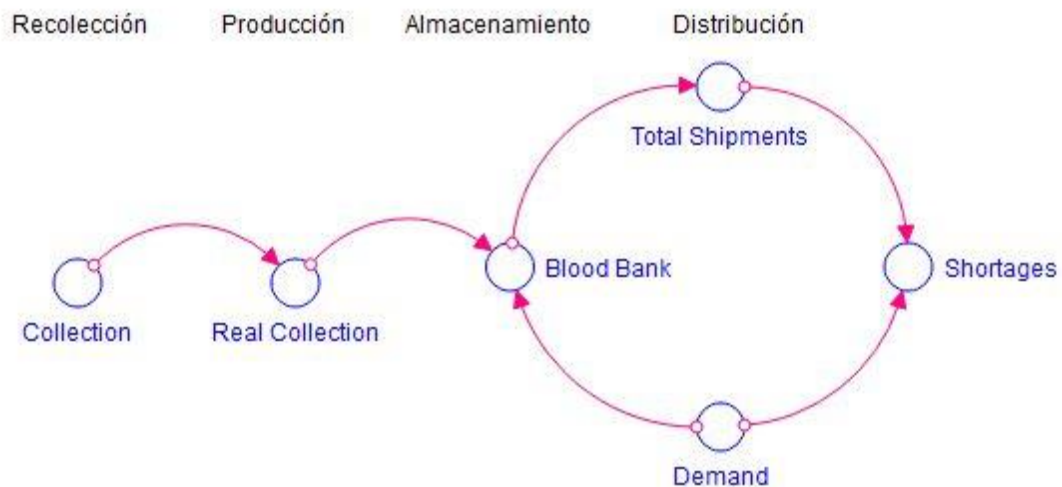


Figura 5. Diagrama de subsistemas del Banco de Sangre

En la Figura 5, se muestran los principales sistemas que interactúan en los eslabones de la cadena general de abastecimiento de un banco de sangre. Primeramente se realiza la recolección de sangre de los donantes donde se realizan

diferentes pruebas reactivas y un control de calidad, discriminando ciertas unidades para pasar a la etapa de producción en la cual se separa en los diferentes componentes y se verifica la calidad de las unidades. Luego, ocurre el almacenamiento y finalmente ocurre el proceso de distribución.

4.2 Desarrollo del modelo

Después se inició el desarrollo del modelo en el programa Stella Architect, modelando las variables más relevantes para la dinámica de un banco de sangre genérico. En la figura 6 se evidencia un esquema general de lo que ocurre dentro de un banco de sangre teniendo en cuenta diferentes variables como la colecta y la demanda que dependen del día y del mes, como se mencionó anteriormente. De igual forma, se tiene el inventario en el banco de sangre que con base en una política de inventario, la demanda y la regla de decisión adoptada genera los envíos a los hospitales públicos.

La variable eficiencia que se observa en la figura 6, es el indicador de desempeño del sistema y se modeló como la relación entre las unidades enviadas acumuladas y las unidades demandadas acumuladas y permite evaluar mensual y contrastar mensual y anualmente el funcionamiento del modelo.

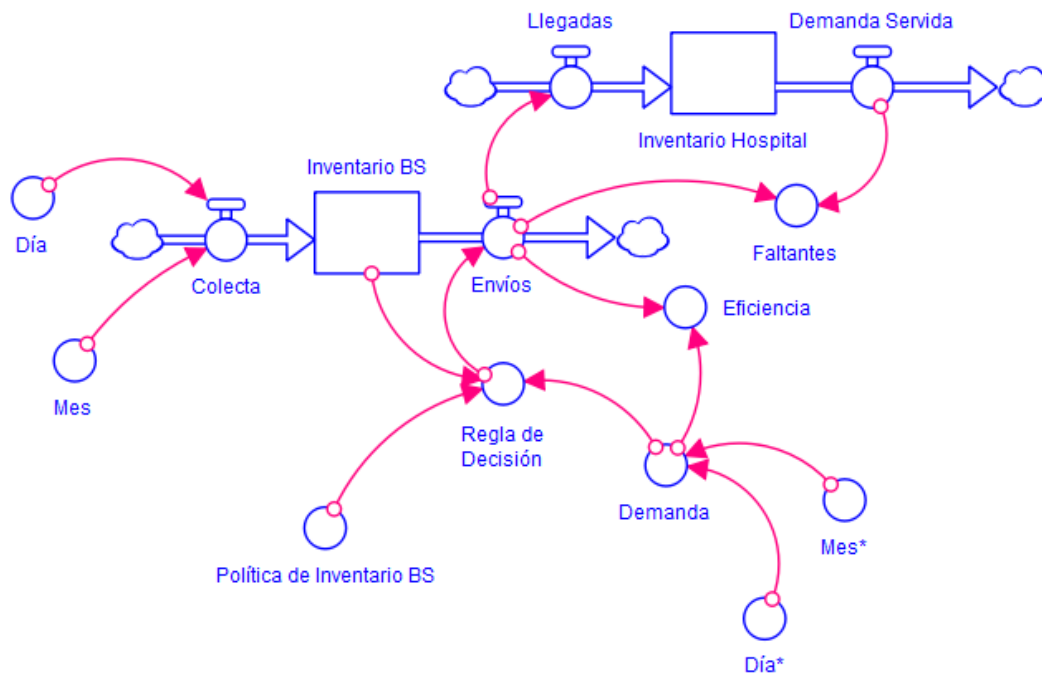


Figura 6. Esquema general del modelo de simulación

Para tomar una decisión de reabastecimiento y envíos, se adoptó la regla de decisión (1) de un banco de sangre de la ciudad de Bogotá con base en heurísticos y consiste en la relación entre el inventario de seguridad actual y el producto de la

demanda diaria estimada con los días de política de seguridad adoptada. Si se cumple la cantidad estimada, es decir, el resultado es mayor a 1, se envía el 100% de la demanda requerida, de lo contrario, se envía la fracción calculada. Por ejemplo, si el inventario de seguridad actual es de 56 unidades y la demanda estimada es de 10 unidades, con 5 días de política de inventario, la relación sería mayor a 1 (1,12) por ende se mandaría las 56 unidades demandadas.

IF (((*Blood Bank** *Safety Rate*)/(*Daily Demand Average** *BB Inv Policy*))>1)

THEN (100% *Shipments to PubH*)

ELSE (*Shipments to PubH**(((*Blood Bank** *Safety Rate*)/(*Daily Demand Average** *BB Inv Policy*))))

(1)

4.3 Validación del modelo

Una vez construido el modelo, se validó internamente con uno de los métodos que propone (Sternan, 2000) el cual consiste en contrastar los datos corridos obtenidos con la información actual, contra datos históricos y determinar si existen diferencias significativas entre ellos para aseverar la coherencia del modelo.

Para probar la validez del modelo, se utilizó una lógica que consistió en acumular los valores de la colecta, la demanda y los envíos de forma mensual, como se observa en la figura 7. Luego, se corrió la simulación obteniendo los valores mensuales de colecta, demanda y envíos contrastándolos contra los obtenidos de (Osorio, Brasford, & Smith, 2015)

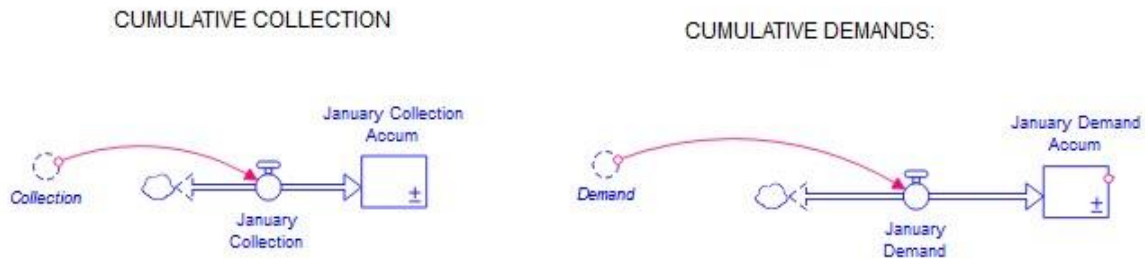


Figura 7. Lógica para valores mensuales

4.4 Análisis de sensibilidad.

Validados los datos, se procedió a modificar el denominador de la relación de la regla, para esto se cambió el cálculo de pronóstico de demanda actual (promedio móvil simple) a uno por medio de suavización exponencial simple, además se varió el número de días de política de inventarios entre valores razonables (4 a 8 días) y el coeficiente de suavización exponencial entre 0,1 y 0,9. La ecuación (2) es la nueva regla de decisión.

IF (((*Blood Bank* Safety Rate*)/(*Smooth Demand* BB Inv Policy*))>1)

THEN (100% *Shipments to PubH*)

ELSE (*Shipments to PubH**((*Blood Bank* Safety Rate*)/(*Smooth Demand* BB Inv Policy*)))

(2)

4.5 Escritura del artículo académico

Terminado el modelo, validados los datos y comparando las reglas se procedió a elaborar un artículo académico bajo el formato del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) que posteriormente fue enviado como propuesta de ponencia para el XVI Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, que se realizará del 29 al 31 de Agosto, el documento se encuentra en el Anexo 3 y actualmente está en proceso de revisión.

5 Resultados

Los resultados obtenidos de la simulación de la demanda (*Demand*), colecta (*Collection*) y despachos (*Shipments to PubH*) se compararon con los datos del banco de sangre mediante un análisis estadístico. Primeramente, se verificó la normalidad de los datos, como se observa en la figura 8:

Demanda:

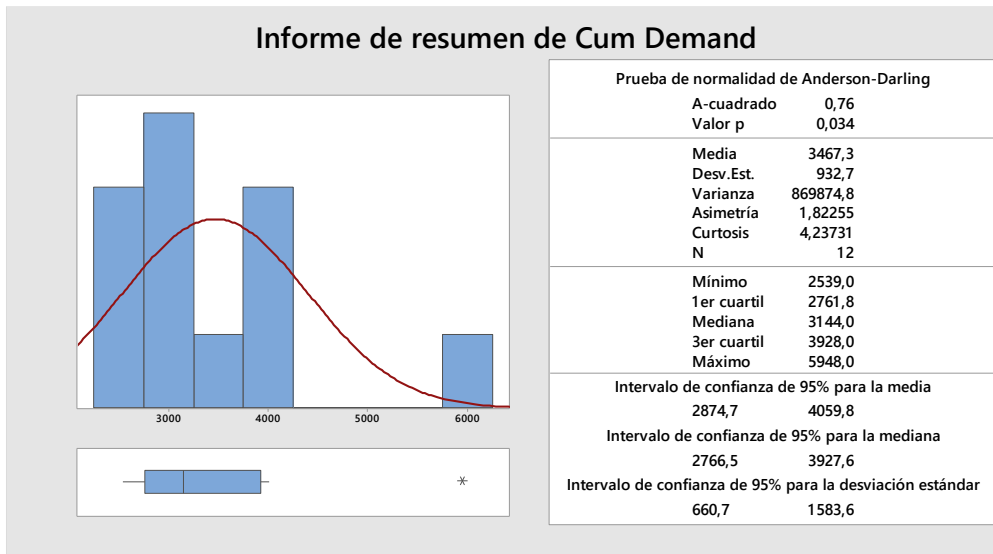


Figura 8. Resumen estadístico descriptivo de la demanda del modelo

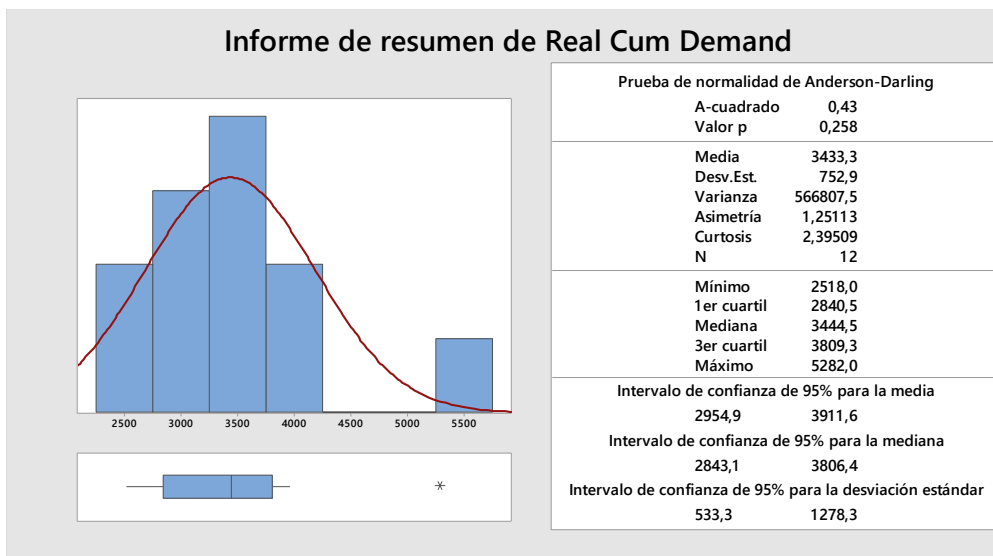


Figura 9. Resumen estadístico descriptivo de la demanda real

Como se puede observar en las figuras 8 y 9, ambas distribuciones cumplen con la prueba de normalidad (valor $p > \alpha=0,05$). A continuación se realizó la prueba F para verificar la relación entre varianzas y se obtuvo lo siguiente:

Prueba e IC para dos varianzas: Cum Demand. Real Cum Demand

Método

σ_1 : desviación estándar de Cum Demand

σ_2 : desviación estándar de Real Cum Demand

Relación: σ_1/σ_2

Se utilizó el método F. Este método es exacto sólo para datos normales.

Estadísticas descriptivas

Variable	N	Desv.Est.	Varianza	IC de 95% para σ
Cum Demand	12	932,671	869874,750	(660,699. 1583,561)
Real Cum Demand	12	752,866	566807,477	(533,327. 1278,275)

Relación de desviaciones estándar

Relación estimada	IC de 95% para la relación usando F
1,23883	(0,665. 2,309)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$

Hipótesis alterna $H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Método	Estadística de prueba			Valor p
	GL1	GL2		
F	1,53	11	11	0,489

Tabla 4. Relaciones entre varianzas de la demanda

Finalmente, al corroborar la igualdad de varianzas entre los datos, se realizó la prueba T para verificar si la diferencia entre las medias de los datos era significativa.

Prueba T e IC de dos muestras: Cum Demand. Real Cum Demand

Método

μ_1 : media de Cum Demand

μ_2 : media de Real Cum Demand

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Cum Demand	12	3467	933	269
Real Cum Demand	12	3433	753	217

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
34	848	(-684. 752)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
0,10	22	0,923

Tabla 5. Prueba de hipótesis de diferencia de medias de la demanda

En conclusión, ya que el valor p (0,923) de la prueba es mayor al nivel de significancia α (0,05) se puede concluir que la diferencia entre las medias de la demanda del modelo y la demanda del banco de sangre no es significativa y corresponde a una aproximación verídica de la realidad. Con este mismo método se procedió para el análisis de los datos de la colecta y los despachos y se obtuvieron las mismas conclusiones, como se muestra en el anexo 2, con los valores p mostrados en la siguiente tabla.

Pruebas de Hipótesis ($\alpha=0,05$)

Variables	Valor p
Collection	0,108
Demand	0,25
Shipments	0,912

Tabla 6. Valores P validación interna

A continuación se presenta el comportamiento de la colecta y la demanda, a través del tiempo.

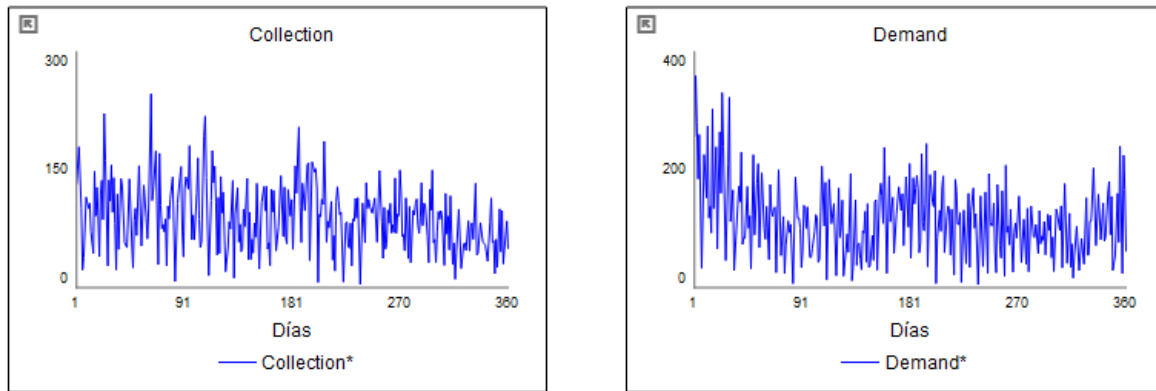


Figura 10. Comportamiento de la colecta y la demanda

Como se puede observar en la figura 10. La fluctuación del proceso es muy alta, se puede evidenciar los picos y valles que representan un alto rango de unidades de sangre tanto en la demanda como en la colecta, es decir, alta variabilidad. Además, se puede percibir que la demanda tiende a oscilar entre valores más altos que la colecta, lo que indica que se demandan más unidades de las que se donan.

La Tabla 7, muestra los resultados de la eficiencia anual del banco para diferentes valores de α y días de la política de inventario de seguridad. La mejor eficiencia (0,801) se logró con un α de 0,75 y un stock de 5 días, sin embargo el coeficiente de variación intraexperimentos (0,75%) es muy bajo, lo que representa la similitud entre los resultados de cada experimento

α	BB Inv Policy				
	4	5	6	7	8
0,1	0,8	0,798	0,797	0,796	0,795
0,25	0,8	0,798	0,798	0,797	0,796
0,5	0,8	0,799	0,798	0,797	0,797
0,75	0,8	0,801	0,8	0,799	0,798
0,9	0,8	0,798	0,8	0,798	0,797

Tabla 7. Matriz diseño de experimentos

Los datos obtenidos con estas variables se compararon con la regla actual, tal como lo muestra la tabla 8:

Regla heurística

Month	Efficiency	Shortages
January	51,95%	2858
February	70,70%	1144
March	92,56%	230
April	101,05%	0
May	98,86%	29
June	71,06%	1139
July	80,96%	763
August	77,61%	701
September	85,30%	446
October	93,07%	185
November	81,16%	499
December	54,48%	1612

Regla propuesta

Month	Efficiency	Shortages
January	55%	2684
February	68%	1264
March	95%	167
April	100%	15
May	105%	0
June	68%	1250
July	82%	742
August	76%	743
September	87%	405
October	92%	222
November	82%	472
December	56%	1570

Tabla 8. Comparación reglas de decisión

Como se puede observar, los resultados son muy similares en ambos casos, estadísticamente (ver anexo 2) para una prueba t de igualdad de medias se encontró un valor p de 0,92 lo que implica que no existen diferencias significativas entre las dos reglas. Cabe aclarar que en los casos en los que se presentó una eficiencia mayor al 100% se debió a que las unidades enviadas, fueron mayores a las demandas, teniendo en cuenta que estos indicadores son acumulados mensuales. Además, hay que recordar que la regla de decisión se enfoca en cumplir el stock de seguridad con base en las unidades disponibles en el banco de sangre, más que con la demanda. En la Figura 11 se puede ver el comportamiento gráfico mes a mes de ambas reglas.

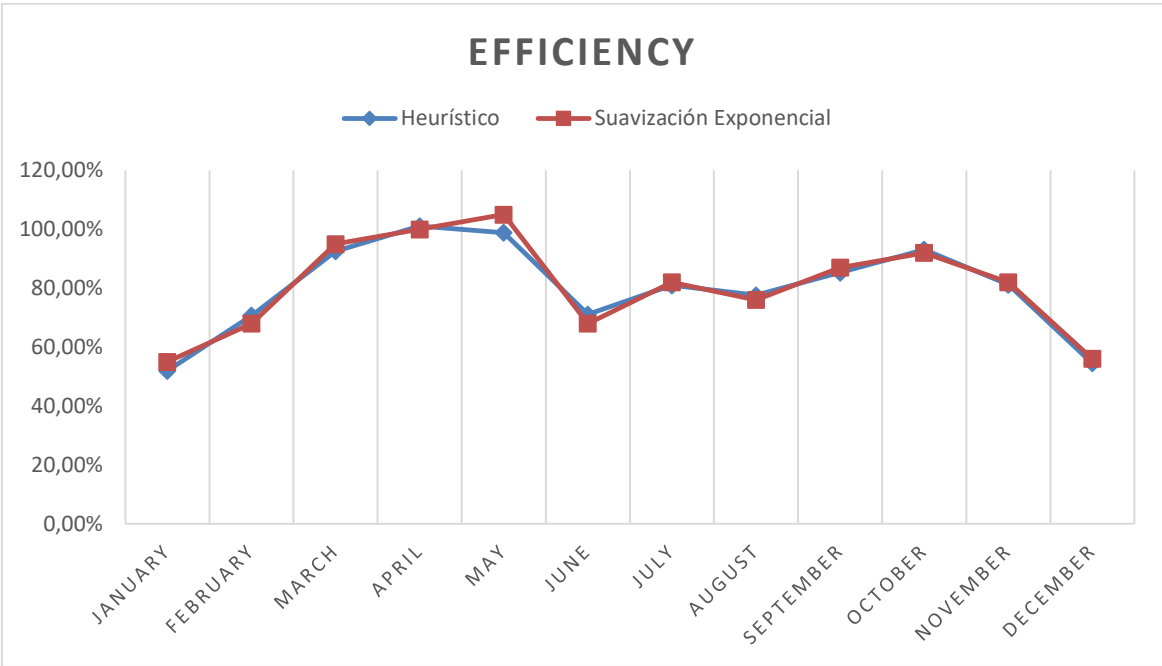


Figura 11. Comparación de eficiencias

6 Conclusiones

La poca variación entre los datos de las reglas de decisión puede evidenciar que el heurístico funciona bien. Reforzando a (Gigerenzer, 2008) quien indica en diferentes experimentos la utilidad de los heurísticos, encontrando incluso algunos casos donde estos superan a los modelos matemáticos (DeMiguel, 2006).

La poca variación intraexperimentos puede deberse a que los valores de la demanda superan altamente a los de la colecta, generando un “límite de rendimiento” por la magnitud de estos datos. Para análisis futuros, es pertinente plantear un escenario con una cantidad de recolección más alta para poder modificar la eficiencia de los despachos en la cadena.

Este modelo sirve como base para investigaciones futuras, se recomienda la incorporación de variables más específicas que aumenten la veracidad del modelo y sus aplicaciones. Vida útil, compatibilidad del tipo de sangre, pueden ser ejemplos de estas.

Bibliografía

- Administración Municipal de Cali. (2016). *Cali en Cifras*. Departamento Administrativo de Planeación Municipal, Cali.
- Angarita Buitrago, D. d., & Borda Moreno, J. D. (2014). *Caracterización Logística de la cadena de abastecimiento de la red de bancos de sangre de Bogotá*. Proyecto de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Cundinamarca, Bogotá.
- Beliën, J., & Forcé, H. (2012). Supply chain management of blood products: A literature review. *Elsevier*, 1-16.
- Bonilla, J. J. (4 de Enero de 2018). Los bancos de sangre del Eje Cafetero inician el año en 'blanco'. *El Tiempo*.
- Cabrera Santana, Y., Mateo Pla, M. Á., & Pons Terol, J. (2004). Herramienta de simulación distribuida mediante agentes móviles de Jade. *Conferencia IADIS Ibero-Americana WWW/Internet*, (págs. 44-56). Madrid.
- Caracol Radio. (23 de Febrero de 2018). *Alerta por falta de sangre para niños con cáncer en Bogotá*. Obtenido de http://caracol.com.co/emisora/2018/02/23/bogota/1519418733_145674.html
- Cruz Roja Colombiana. (5 de mayo de 2014). *La Importancia de la Sangre*. Recuperado el 1 de noviembre de 2017, de página oficial de la Cruz Roja: <http://www.cruzrojacolombiana.org/centro-de-informacion/la-importancia-de-la-sangre>
- DeMiguel, V. e. (2006). 1/N. Zurich: European Financial Association Meeting (EFA).
- Dueñas, V. H. (2003). El Banco de SANGRE. En V. H. Dueñas, *El Banco de Sangre* (págs. 202-210). Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.
- Gigerenzer, G. M. (2008). *Why Heuristics Work*. Berlín: Max Planck Insititute for Human Development.
- Instituto Nacional de Salud. (1996). *Manual de normas técnicas y administrativas en bancos de sangre*. Resolución, Bogotá.
- Instituto Nacional de Salud. (2006). *Recomendaciones sobre capacitación del personal de bancos de sangre*. Circular, Bogotá.
- Instituto Nacional de Salud. (2014). *Informe Nacional de Indicadores*. Red Nacional de Bancos de Sangre y Servicios de Transfusión. Bogotá: Instituto Nacional de Salud.
- Instituto Nacional de Salud. (2015). *Informe Nacional de Indicadores*. Bogotá: Instituto Nacional de Salud.

- Instituto Nacional de Salud. (2017). *Recomendaciones para mantener la disponibilidad de sangre y hemocomponentes ante eventos que aglomeren población*. Circular, Bogotá.
- Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Seuring, S. (2014). Dynamic supply chain network design for the supply of blood. *Elsevier*, 225-244.
- Katsaliakia, K., Mustafee, N., & Kumar, S. (2014). A Game-based Approach towards Facilitating Decision Making for perishable products: An example of blood supply chain. *Elsevier*, 4043-4059.
- Lucia Luna Mendoza, I. r. (2007). Áferesis Plaquetaria. *Enfermeriaa Cardiologica*, 89.
- Martin, L. J. (01 de Enero de 2016). *Biblioteca Nacional de Medicina de los E.E.U.U.* Obtenido de MedLinePlus: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/anatomyvideos/000104.htm>
- Ministerio de la Protección Social. (2007). *Política Nacional de Sangre*. Bogotá: Ministerio de la Protección Social.
- Ministerio de Salud. (2017). Donación y transfusión de sangre.
- OMS. (2014). Disponibilidad y seguridad de la sangre a nivel mundial.
- Organización Mundial de la Salud. (2004). *La cadena de frío de la sangre*. Ginebra.
- Organización Mundial de la Salud. (2010). *El proceso de tranfusión clínica y la seguridad de los pacientes*. Seguridad de las transfusiones sanguíneas., Departamento de Tecnologías Esenciales, Ginebra.
- Osorio Muriel, A. F., Brailsford, S., & 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. *S&T*, 9-24.
- Osorio, A. F., Brasford, S. C., & Smith, H. K. (2015). A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision-making. *International Journal of Production Research*.
- Presidencia de la República. (1993). *Reglamento el funcionamiento de Bancos de Sangre y Servicio Transfusión y se crea la Red de Sangre*. Bogotá.
- Salamanca Saavedra, O. E. (2013). *Modelo de respuesta estratégica de la Red Nacional de Bancos de Sangre y Servicios Transfusionales de Colombia ante escenarios de desastre*. Tesis de Maestría, Universidad de La Sabana, Facultad de Ingeniería, Chía.
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamis Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Massachusetts: McGraw-Hill.

Thomas, A., & Kopczak, L. (2005). *From Logistic to Supply Chain Management: the path forward In the human sector*. Canadá.

Torrelio, E. A. (2011). Educación Medica Continua. *sociedad boliviana de pediatria*, 141.

ANEXOS

Anexo 1. Reporte de Cambios y Ajustes

Con base en la rúbrica y comentarios del Lector y considerando los comentarios incluidos en el acta de sustentación los estudiantes deben realizar el Reporte de Cambios y Ajustes. Este documento es uno de los elementos de la entrega final y debe acompañar la versión final del proyecto de grado.

Título del Proyecto : Toma de decisiones de la cadena de abastecimiento de un banco de sangre

Integrantes : Andrés Mauricio Espitia, Brayan Stiven Pérez, Rodrigo Esteban Tofiño

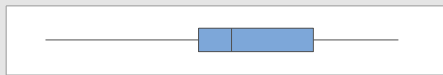
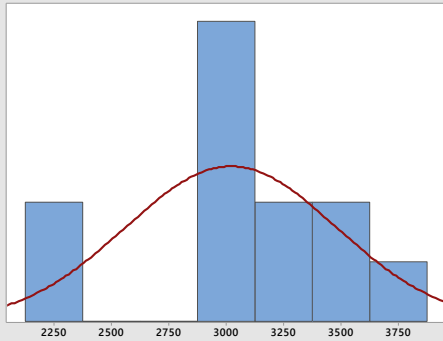
Lector : Fernando Quintero

No.	Comentarios Lector/sustentación	Respuesta/Modificación (incluir la página del documento)
1	El título del proyecto es muy general.	Dado que el proyecto es exploratorio con el nombre se busca justo eso, ser generales.
2	Falta articular metodología con los resultados	Se reescribió la metodología con el objetivo de corregir este comentario y ser coherentes en la escritura.
3	Ilustrar las distribuciones de probabilidad y explicar los factores de conversión	En la metodología se realizaron estos cambios
4	Mostrar significancia estadística del experimento del análisis de sensibilidad	Se realizó un coeficiente de variación intraexperimentos evidenciado en los resultados, al igual que las pruebas estadísticas para confirmar igualdad en las eficiencias entre reglas de decisión.

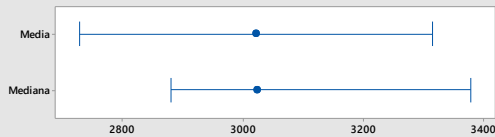
Anexo 2. Análisis estadístico de los datos

COLLECTION:

Informe de resumen de Real Cum Collection



Intervalos de confianza de 95%



Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado	0,38
Valor p	0,342

Media	3020,9
Desv.Est.	461,8
Varianza	213231,5
Asimetría	-0,442000
Curtois	0,063764
N	12

Mínimo	2213,0
1er cuartil	2880,8
Mediana	3023,0
3er cuartil	3382,5
Máximo	3752,0

Intervalo de confianza de 95% para la media

2727,5	3314,3
--------	--------

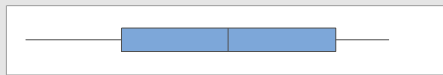
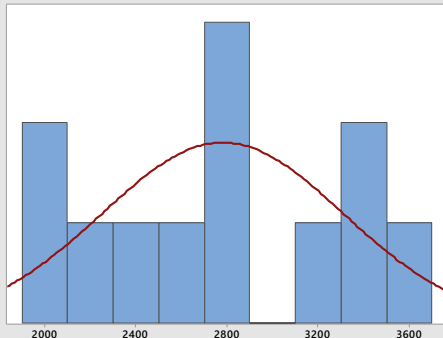
Intervalo de confianza de 95% para la mediana

2881,0	3379,0
--------	--------

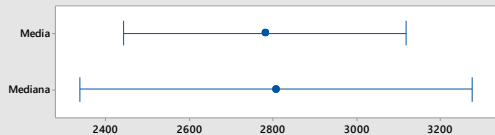
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

327,1	784,0
-------	-------

Informe de resumen de Cum Collection



Intervalos de confianza de 95%



Prueba de normalidad de Anderson-Darling

A-cuadrado	0,21
Valor p	0,817

Media	2780,9
Desv.Est.	530,5
Varianza	281422,8
Asimetría	-0,142775
Curtois	-0,998165
N	12

Mínimo	1915,0
1er cuartil	2334,3
Mediana	2805,5
3er cuartil	3278,8
Máximo	3512,0

Intervalo de confianza de 95% para la media

2443,9	3118,0
--------	--------

Intervalo de confianza de 95% para la mediana

2337,1	3277,4
--------	--------

Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar

375,8	900,7
-------	-------

Prueba e IC para dos varianzas: Cum Collection. Real Cum Collection

Método

σ_1 : desviación estándar de Cum Collection

σ_2 : desviación estándar de Real Cum Collection

Relación: σ_1/σ_2

Se utilizó el método F. Este método es exacto sólo para datos normales.

Estadísticas descriptivas

Variable	N	Desv.Est.	Varianza	IC de 95% para σ
Cum Collection	12	530,493	281422,811	(375,799. 900,712)
Real Cum Collection	12	461,770	213231,538	(327,116. 784,029)

Relación de desviaciones estándar

Relación estimada	IC de 95% para la relación usando F
1,14883	(0,616. 2,141)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$

Hipótesis alterna $H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
F	1,32	11	11	0,653

Prueba T e IC de dos muestras: Cum Collection. Real Cum Collection

Método

μ_1 : media de Cum Collection

μ_2 : media de Real Cum Collection

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
---------	---	-------	-----------	-------------------------------------

Cum Collection	12	2781	530	153
Real Cum Collection	12	3021	462	133

Estimación de la diferencia

		IC de 95%
	Desv.Est.	para la
Diferencia	agrupada	diferencia
-240	497	(-661. 181)

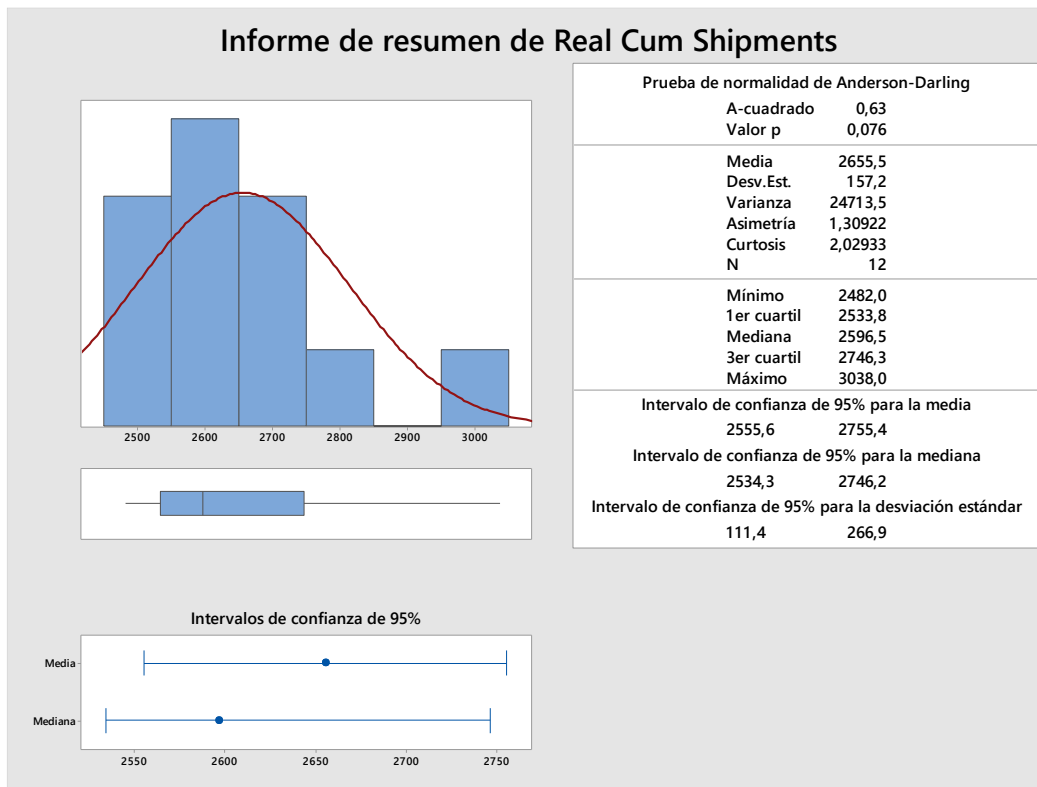
Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

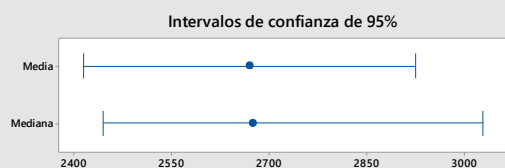
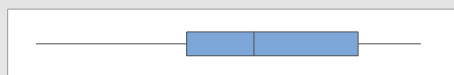
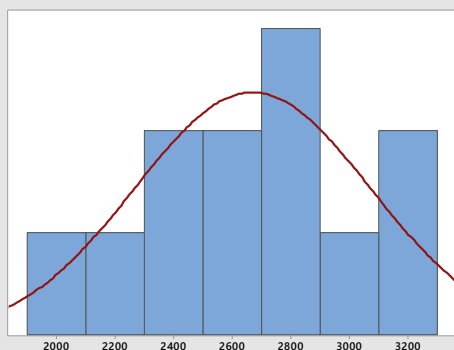
Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-1,18	22	0,250

SHIPMENTS:



Informe de resumen de Cum Shipments



Prueba de normalidad de Anderson-Darling	
A-cuadrado	0,18
Valor p	0,890
Media	2669,5
Desv. Est.	402,5
Varianza	162004,8
Asimetría	-0,260781
Curtosis	-0,459840
N	12
Mínimo	1929,0
1er cuartil	2444,0
Mediana	2674,0
3er cuartil	3032,5
Máximo	3245,0
Intervalo de confianza de 95% para la media	
	2413,8 2925,2
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
	2444,7 3029,5
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
	285,1 683,4

Prueba e IC para dos varianzas: Cum Shipments. Real Cum Shipments

Método

σ_1 : desviación estándar de Cum Shipments

σ_2 : desviación estándar de Real Cum Shipments

Relación: σ_1/σ_2

Se utilizó el método F. Este método es exacto sólo para datos normales.

Estadísticas descriptivas

Variable	N	Desv.Est.	Varianza	IC de 95% para σ
Cum Shipments	12	402,498	162004,818	(285,128. 683,393)
Real Cum Shipments	12	157,205	24713,545	(111,364. 266,916)

Relación de desviaciones estándar

Relación estimada	IC de 95% para la relación usando F
2,56033	(1,374. 4,772)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$

Hipótesis alterna $H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
F	6,56	11	11	0,004

Prueba T e IC de dos muestras: Cum Shipments. Real Cum Shipments

Método

μ_1 : media de Cum Shipments

μ_2 : media de Real Cum Shipments

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Cum Shipments	12	2670	402	116
Real Cum Shipments	12	2656	157	45

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
14	(-254. 282)

Prueba

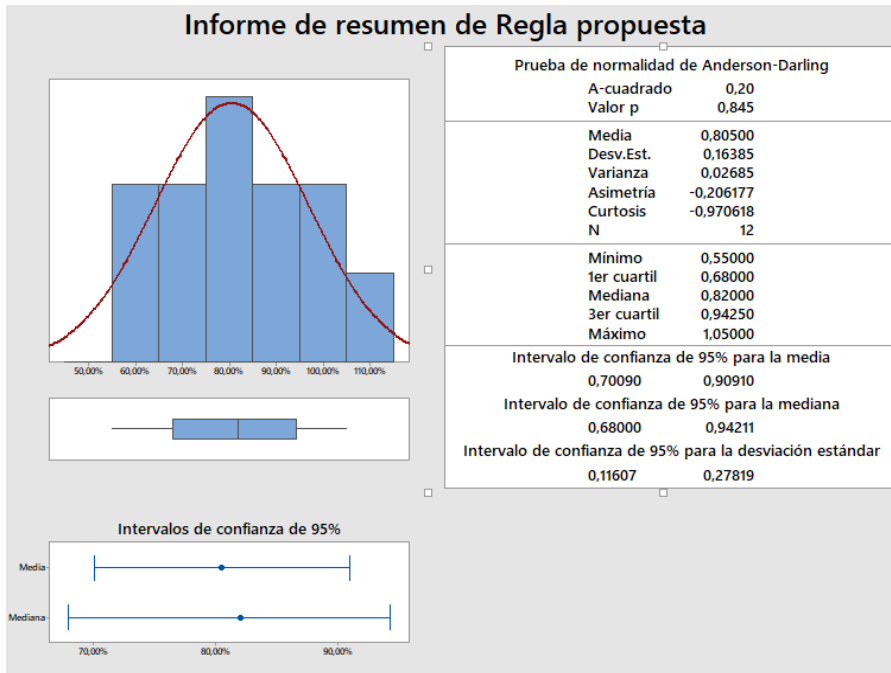
Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

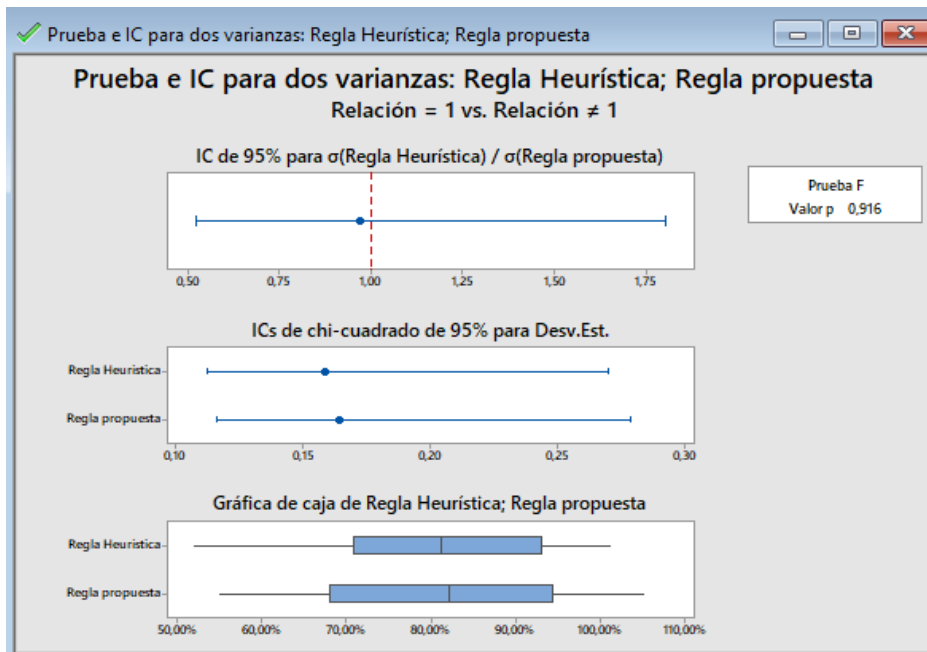
Valor T	GL	Valor p
0,11	14	0,912

Análisis diferencia de medias significativas de la eficiencia entre las reglas de decisión

Normalidad datos



Relación varianzas



Prueba T

T de dos muestras para Regla Heurística vs. Regla propuesta

	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media
Regla Heurística	12	0,799	0,159	0,046
Regla propuesta	12	0,805	0,164	0,047

Diferencia = μ (Regla Heurística) - μ (Regla propuesta)

Estimación de la diferencia: -0,0060

IC de 95% para la diferencia: (-0,1426; 0,1305)

Prueba T de diferencia = 0 (vs. ≠): Valor T = -0,09 Valor p = 0,928 GL = 22

Ambos utilizan Desv. Est. agrupada = 0,1613

Blood Supply Chain Decision Making

A.F, Osorio, A. M. Espitia, B. S. Pérez, F. A. Arenas and R. E. Tofiño

Este trabajo presenta una aproximación de la cadena de abastecimiento de un banco de sangre, a través de un modelo de dinámica de sistemas. Tanto la recolección como el suministro de sangre a hospitales, se modeló con variables aleatorias a través de datos empíricos de un banco real. La regla de decisión heurística utilizada por este banco de sangre se comparó con una regla de decisión basada en técnicas de pronóstico y políticas de inventario, en cuanto al desempeño del banco de sangre, medido como el nivel de servicio de suministro a los hospitales.

Keywords— Banco de sangre, dinámica de sistemas, cadena de abastecimiento.

I. INTRODUCCIÓN

EL SUMINISTRO de sangre, es uno de los mayores retos que la salud enfrenta actualmente. Para empezar, en Colombia, el promedio nacional de sangre disponible es de 12 unidades por cada mil habitantes, cifra superada sólo por 5 departamentos: Bogotá D.C. (23,7), Antioquia (15,4), Tolima (23,2), Atlántico (13,4) y por último Valle del Cauca (13,2). Además de esto, en departamentos como Arauca o Cauca este índice escasamente sobre pasa las 6 unidades y más crítico aún en 7 departamentos no existen bancos de sangre [1]. Como se puede evidenciar, el panorama en general es preocupante, incluso Bogotá, la ciudad con mayor tasa de donantes, sería incapaz de atender adecuadamente un evento catastrófico donde se requieran niveles masivos de sangre.

Además de lo anterior, constantemente se presentan casos de desabastecimiento en los bancos del país. Por una parte, la cantidad de donantes no es suficiente, para el año 2014, se recolectaron aproximadamente 792.000 unidades de sangre [2], es decir 66.000 unidades mensuales y comparando la donación con la demanda (aproximadamente 100.000 unidades mensuales) se puede ver una brecha significativa en el cumplimiento del servicio. Por otra parte, la tasa de donación nacional -17 donantes por cada mil habitantes- está muy por debajo de lo que recomienda la Organización Mundial de la Salud (OMS) que debería ser de 36,8 donantes por cada mil habitantes, otro indicador que reafirma la grave situación que se vive en el país. [3]

La cadena de abastecimiento de la sangre presenta ciertas particularidades que hacen complejo su manejo. Para empezar, existe alta incertidumbre tanto en su suministro -que está dado por donantes generalmente no regulares- como en su demanda, que depende de accidentes, partos, hemofilias, entre otros. Además, cada hemocomponente tiene un tiempo de vida útil

diferente, en el caso de los glóbulos rojos es de hasta 42 días [4].

Esta cadena, ha sido estudiada anteriormente a través del modelado, por diferentes autores. [5] desarrolló un modelo dinámico para la asignación de inventario de sangre en caso de una catástrofe, enfocado en disminuir los costos de almacenamiento, transporte y recolección de las unidades. [6] planteó un modelo de optimización lineal multiobjetivo, que buscó la minimización del costo total y del número de donantes necesarios. Finalmente, [7] desarrolló un modelo de regresión lineal que sirve de guía para la Red Nacional de Sangre Y Servicios Transfusionales en caso de un desastre y que permitió caracterizar el sistema de sangre para Colombia.

Este trabajo, pretende centrarse en algunos aspectos conductuales que afectan el rendimiento de la cadena, particularmente, el proceso de toma de decisiones en el banco de sangre, para atender la demanda de sus hospitales, específicamente los hospitales públicos. En lo que resta, se hace una descripción del modelo y se presentan y discuten, los resultados obtenidos al utilizar dos reglas de decisión para la atención de los pedidos recibidos en el banco. Una regla de decisión basada en técnicas de pronóstico de demanda y una regla de decisión heurística utilizada actualmente por un banco de sangre colombiano

II. ESTRUCTURA DEL MODELO

La Figura 1 muestra la estructura básica del modelo de simulación realizado, con sus principales variables:

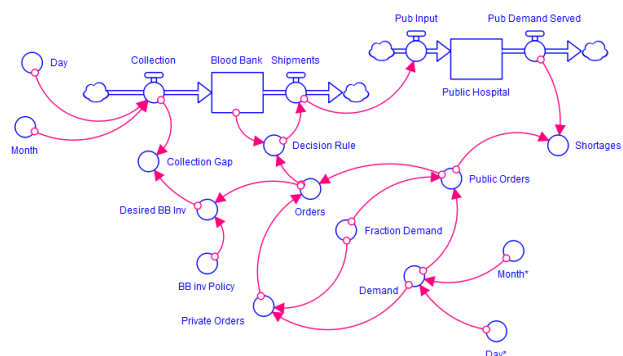


Figura 1. Estructura general del modelo.

Como se observa en Fig. 1, la recolección de unidades (*Collection*), al igual que la demanda (*Demand*), varía dependiendo del día de la semana y su respectivo mes. En el banco de sangre (*Blood Bank*), se comparan las unidades actuales, con un stock de seguridad, equivalente al producto de la demanda diaria estimada con la política de inventario de seguridad y se deciden la cantidad de despachos a los hospitales. Esta decisión es tomada con una regla heurística, calculando la demanda diaria con un promedio simple (1). Se propuso otra regla decisión (2), calculando la demanda diaria con un pronóstico de demanda (Suavización exponencial):

$$\begin{aligned}
 &\mathbf{IF} \left(\frac{(\text{Blood Bank} * \text{Safety Rate})}{(\text{Daily Demand Average} * \text{BB Inv Policy})} > 1 \right) \\
 &\mathbf{THEN} (100\% \text{ Shipments to PubH}) \\
 &\mathbf{ELSE} (\text{Shipments to PubH} * \frac{(\text{Blood Bank} * \text{Safety Rate})}{(\text{Daily Demand Average} * \text{BB Inv Policy})}) \\
 &\hspace{10em} (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\mathbf{IF} \left(\frac{(\text{Blood Bank} * \text{Safety Rate})}{(\text{Smooth Demand} * \text{BB Inv Policy})} > 1 \right) \\
 &\mathbf{THEN} (100\% \text{ Shipments to PubH}) \\
 &\mathbf{ELSE} (\text{Shipments to PubH} * \frac{(\text{Blood Bank} * \text{Safety Rate})}{(\text{Smooth Demand} * \text{BB Inv Policy})}) \\
 &\hspace{10em} (2)
 \end{aligned}$$

Por otra parte, la relación entre los despachos y la demanda ($\text{Total Shipments}/\text{Demand}$) se define como la eficiencia acumulada (*Efficiency Cum*) y será la medida principal de desempeño del sistema. La diferencia entre los envíos y las unidades demandadas, serán las unidades faltantes en los hospitales (*Shortages*).

El modelo se compone de dos secciones importantes: la primera representa la estructura del banco de sangre que visualiza en la Figura 3 y la segunda, Figura 4, representa la estructura del hospital público.

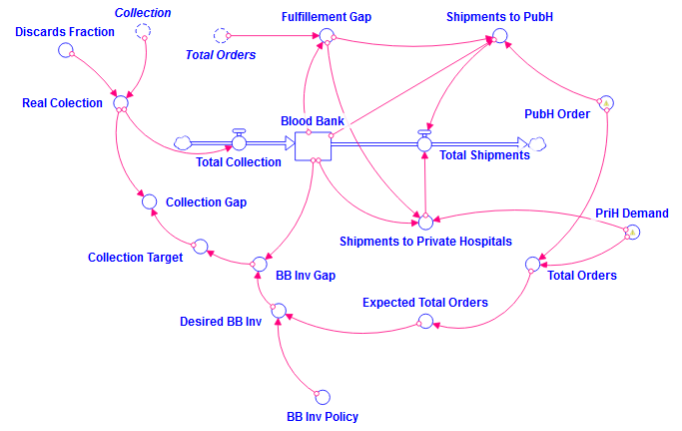


Figura 3. Dinámica en bancos de sangre

Las unidades totales enviadas a los hospitales (*Total Shipments*) se componen de las enviadas al hospital público (*Shipments to PubH*) y al privado (*Shipments to Private Hospitals*), en este punto es donde se encuentra la regla de decisión planteada en la ecuación (1).

Antes que las unidades ingresen al banco de sangre, deben pasar por un proceso de control de calidad, para garantizar la inocuidad de estas. En este proceso un porcentaje de unidades recolectadas se descarta (*Discards Fraction*), obteniendo finalmente la recolecta real que ingresa al banco (*Real Collection*).

Dado lo anterior, se define el inventario en el banco de sangre con la siguiente ecuación:

$$\int_0^t (\text{Total Colecction} - \text{Total Shipments}) dt \quad (3)$$

Ahora bien, la recolección (*Collection*) se modeló como una variable aleatoria con una distribución diferente para cada día de la semana, de acuerdo a [6]. Además, a partir de datos reales de recolección de un banco de sangre en Colombia, se calcularon factores de estacionalidad para cada mes. Por ejemplo, el lunes se rige por la distribución Lognormal(90.725, 45.635,0) [6], suponiendo un valor de 115 unidades y que se está en el mes de agosto -cuyo factor de conversión es 0,838- se tendría que la colecta sería la multiplicación entre estos datos, es decir, la recolecta para ese día sería de 96 unidades.

De igual forma, para el modelado de la Demanda (*Demand*) se utilizó el mismo principio lógico que el mencionado anteriormente, diferenciándose únicamente en los valores presentes en cada componente (Distribuciones de probabilidades diarias y factor de conversión mensual).

A continuación se describirá la operación del hospital público, su relación con el flujo de unidades y su demanda:

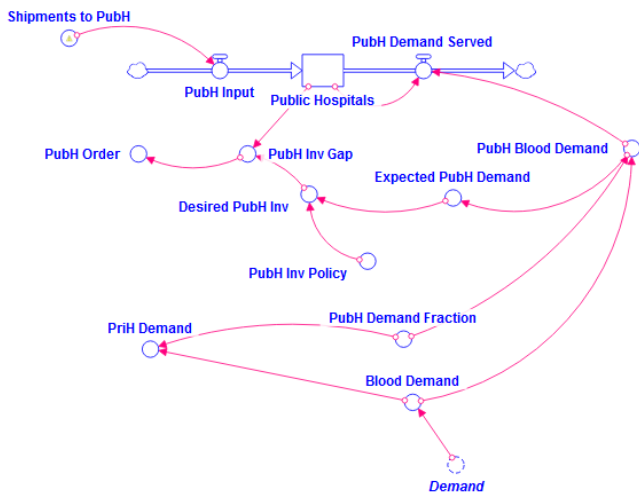


Figura 4. Dinámica en los hospitales públicos.

Como su nombre lo indica, *PubH Input* representa las unidades que llegan desde el banco de sangre al hospital, esta es una de las variables que conecta la dinámica anteriormente expuesta con el resto del modelo. En segunda instancia, encontramos el flujo de salida (*PubH Demand Served*) representando las unidades que efectivamente se suplieron de la demanda requerida (*PubH Blood Demand*) que como se mencionó anteriormente, representa el mayor peso de la demanda total (*Demand*). Finalmente, habiendo definido ambos flujos, se tiene a *Public Hospitals* como el nivel de inventario presente en el hospital en cada momento de la simulación, es decir, la diferencia entre los flujos.

La conexión entre ambas dinámicas se presenta en: *Total Orders*, ya que brinda las unidades totales que se deberán pedir al banco de sangre para atender a la demanda y en *Total Shipments* ya que representa las unidades que realmente envía el banco a los hospitales.

III. VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN:

Para verificar que tanto la colecta (*Collection*) como la demanda (*Demand*) del modelo, fueron similares a los datos reales, se utilizaron indicadores mensuales de ambas variables, como se muestra en la siguiente figura y luego se corrió el modelo.



Figura 5. Indicadores de validación.

Obtenidos los datos del modelo, se analizaron estadísticamente contra los datos reales. Primero se corroboró la normalidad de los datos. Seguido esto, se confirmó la igualdad de varianzas y finalmente, se realizó la prueba t-student de igualdad de medias para dos muestras. Este procedimiento se realizó para validar el comportamiento de las variables *Collection* y *Demand*. A continuación, se pueden ver los resultados obtenidos para *Collection*:

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Cum Collection	12	2684	523	151
Real Cum Collection	12	3021	462	133

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
-337	493	(-755, 81)

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-1,67	22	0,108

Tabla 1. Prueba de hipótesis para dos muestras.

Como se observa en Tabla 1, el valor p (0,108) de la prueba es mayor al α tomado (0,05), lo que implica que con un nivel de confianza del 95%, se puede afirmar que la diferencia de las medias de los datos reales y los estimados de *Collection* no son significativa. El mismo proceso se realizó con la variable *Demand* y se llegaron a las mismas conclusiones.

IV. RESULTADOS

El comportamiento de la colecta y la demanda se ven reflejados en las siguientes figuras:

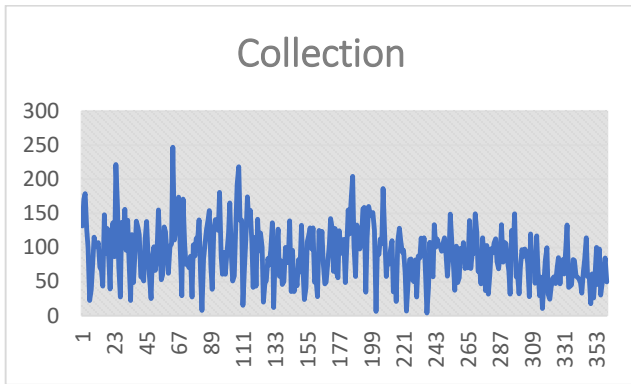


Figura 7. Comportamiento diario de la Colecta.

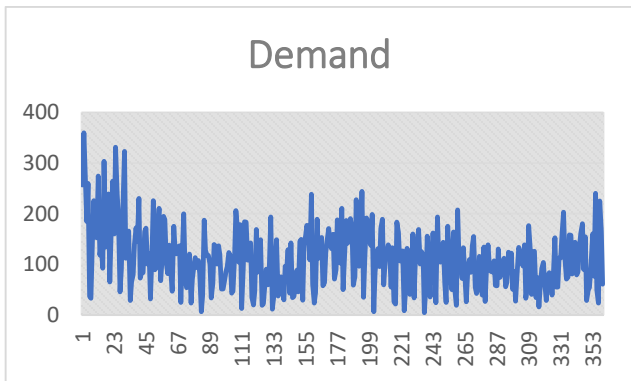


Figura 8. Comportamiento diario de la Demanda.

Para la regla de decisión teórica, se usó una suavización exponencial simple para calcular las unidades demandadas. Luego, se realizó un diseño de experimentos ortogonal comparando las eficiencias anuales al variar los valores del coeficiente de suavización α y los días de stock de seguridad de la política de inventarios *BB Inv Policy* como se observa en Tabla 2.

α	BB Inv Policy				
	4	5	6	7	8
0,1	0,8	0,798	0,797	0,796	0,795
0,25	0,8	0,798	0,798	0,797	0,796
0,5	0,8	0,799	0,798	0,797	0,797
0,75	0,8	0,801	0,8	0,799	0,798
0,9	0,8	0,798	0,8	0,798	0,797

Tabla 2. Matriz diseño de experimento.

Se escogió la mejor eficiencia obtenida con un α de 0,75 y el stock de 5 días, para comparar el rendimiento mensual de la regla de decisión heurística (1) contra la regla propuesta anteriormente (2). Los resultados se observan en Figura 9.

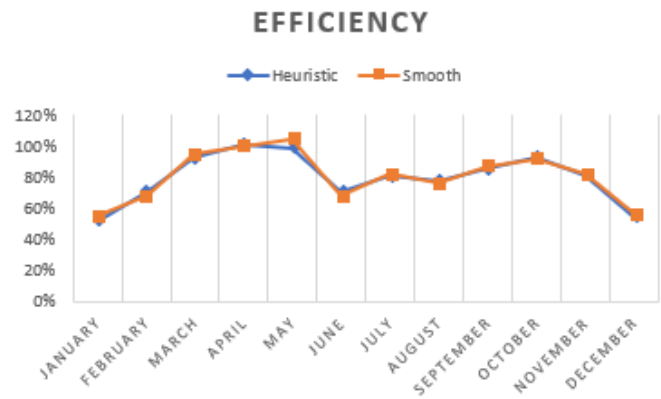


Figura 9. Comparación de eficiencias mensuales

Como se puede apreciar en la gráfica, las eficiencias de ambas reglas de decisión son muy similares y aunque los datos mediante la suavización exponencial son ligeramente mayores (entre 2% y 4%) no se presentan diferencias significativas.

V. CONCLUSIONES

La poca variación entre los datos de las reglas de decisión puede evidenciar que el heurístico funciona bien. Reforzando a [8] quien indica en diferentes experimentos la utilidad de los heurísticos, encontrando incluso algunos casos donde estos superan a los modelos matemáticos [9].

La poca variación intraexperimentos puede deberse a que los valores de la demanda superan altamente a los de la colecta, generando un “límite de rendimiento” por la magnitud de estos datos. Para análisis futuros, es pertinente examinar qué otras variables podrían modificar la eficiencia de los despachos en la cadena.

Este modelo sirve como base para investigaciones futuras, se recomienda la incorporación de variables más específicas que aumenten la veracidad del modelo y sus aplicaciones. Vida útil, compatibilidad y tipo de sangre, pueden ser ejemplos de estas.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio Nacional de la Protección Social. Política Nacional de Sangre. 2007.
- [2] Instituto Nacional de Salud (INS), Informe Nacional de Indicadores. Bogotá, 2015.
- [3] Organización Mundial de la Salud. Disponibilidad y seguridad de la sangre a nivel mundial. Centro de prensa OMS. 2014.
- [4] Ministerio de Salud. Donación y transfusión de Sangre. Bogotá, 2017.
- [5] Jabbarzadeh, A. Dynamic supply chain network desing for the supply of blood. *Elsevier*. 225-244. 2014.
- [6] Osorio, A. F. et al. A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision-making. *International Journal of Production Research*. 2015

- [7] Dueñas, V. H. El banco de sangre. *Programa editorial Universidad del Valle*, pp 202-210. 2012.
- [8] Gigerenzer, G. Why Heuristics Work. Max Planck Insititute for Human Development. Berlin, 2008.
- [9] DeMiguel, V. et al. 1/N. European Financial Association Meeting (EFA). Zurich, 2006.