

**CAMPAÑAS DE DONACIÓN DE SANGRE: MODELO DE SIMULACIÓN EN
BASE A DINÁMICA DE SISTEMAS.**

OSCAR FELIPE ROBAYO LOZANO

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
ABRIL 2019**

**CAMPAÑAS DE DONACIÓN DE SANGRE: MODELO DE SIMULACIÓN EN
BASE A DINÁMICA DE SISTEMAS.**

OSCAR FELIPE ROBAYO LOZANO

Proyecto de Grado para optar el título de Ingeniero Industrial

**Director proyecto
FERNANDO ANTONIO ARENAS GUERRERO**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
ABRIL 2019**

Contenido

GLOSARIO	7
RESUMEN	8
1 Introducción	9
1.1 Contexto, Justificación y Formulación del Problema	9
2 Objetivos	15
2.1 Objetivo del Proyecto.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3 Marco de Referencia	16
3.1 Antecedentes o Estudios Previos	16
3.2 Marco Teórico.....	17
3.3 Contribución Intelectual o Impacto del Proyecto.....	18
4 Metodología	19
4.1 Recopilación de datos obtenidos en estudios previos	19
4.2 Integración de los subsistemas existentes dentro del sistema objeto de estudio.....	20
4.3 Elaboración de diagrama causal.....	20
4.4 Construcción de modelo de simulación	21
4.5 Validación del modelo de simulación	21
4.6 Construcción de interfaz y manual de usuario	21
5 Caracterización del modelo de simulación	22
5.1 Conclusiones	43
5.2 Recomendaciones	44
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	47

Lista de Figuras

Figura 1, Ejemplo de diagrama de subsistemas.	12
Figura 2, Ejemplo de diagrama causal.....	13
Figura 3, Ejemplo modelo de dinámica de sistemas, modelo demográfico.	13
Figura 4, Comportamiento diario de la Demanda. Fuente: Osorio, Espitia, Pérez, Arenas, & Tofiño.	20
Figura 5, Diagrama de subsistemas del sistema de donación de sangre. Fuente: Autor.	22
Figura 6, Diagrama causal donantes de sangre. Fuente: Autor.	23
Figura 7, Modelo demográfico en Colombia. Fuente: Autor.....	24
Figura 8, Pirámide poblacional Colombia. Fuente: datosmacro.com	25
Figura 9, Número de nacimientos en los últimos diez años en Colombia. Total nacional Año 2008-2017. Fuente: Estadísticas vitales, cifras definitivas 2017 – DANE.....	26
Figura 10, Representación de salidas del sistema por defunción. Fuente: Autor. .	29
Figura 11, Representación de la población total en modelo demográfico. Fuente: Autor.	30
Figura 12, Representación de la población en edad de donar en el modelo demográfico. Fuente: Autor.	30
Figura 13, Curva de crecimiento poblacional en Colombia en los siguientes 20 años. Fuente: Autor.	31
Figura 14, Modelo de simulación del sistema de donación de sangre. Fuente: Autor.	32
Figura 15, Curva de crecimiento de la población donante. Fuente: Autor.	33
Figura 16, Tasas de donantes de acuerdo al número de campañas. Fuente: Autor.	34
Figura 17, Representación de salidas de usuarios del sistema de donación de sangre en el modelo de simulación. Fuente: Autor.	37
Figura 18, Representación de unidades totales en el modelo de simulación. Fuente: Autor.	38
Figura 19, Representación de demanda vs oferta anual de unidades de sangre en el modelo de simulación. Fuente: Autor.	39
Figura 20, Unidades totales de sangre recolectadas por año. Fuente: Autor.	40
Figura 21, Diferencia entre demanda y oferta de unidades de sangre en los siguientes 20 años en el modelo de simulación. Fuente: Autor.	41
Figura 22, Interfaz usuario modelo de simulación. Fuente: Autor.	43

Lista de Tablas

Tabla 1, Disponibilidad y demanda de sangre en departamentos de Colombia, 2006.	11
Tabla 2, Población según rangos de edad. Fuente: DANE.....	25
Tabla 3, Análisis de regresión del número de nacimientos en Colombia del 2008 al 2017. Fuente: Autor.	27
Tabla 4, Número de nacimientos esperados en Colombia del 2018 al 2036. Fuente: Autor.	27
Tabla 5, Defunciones, según grupos de edad del fallecido. Fuente: Estadísticas vitales, cifras definitivas 2017 – DANE.	28
Tabla 6, Defunciones, según rangos de edad reagrupados. Fuente: Estadísticas vitales, cifras definitivas 2017 – DANE.	29
Tabla 7, Tasas de mortalidad según rango de edad reagrupado. Fuente: Estadísticas vitales, cifras definitivas 2017 – DANE.	29
Tabla 8, Población Colombia en los siguientes 20 años. Fuente: Autor.	31
Tabla 9, Recopilación de tipos de donantes por año. Fuente: informes anuales de la red nacional de bancos de sangre y servicios de transfusión, Colombia.....	33
Tabla 10, Relación número campañas-Tasa donantes primera vez. Fuente: Autor.	35
Tabla 11, Relación número campañas-Tasa donantes repetitivos. Fuente: Autor.	35
Tabla 12, Relación número campañas-Tasa donantes no repetitivos. Fuente: Autor.	36
Tabla 13, Relación número campañas-Tasa deserción. Fuente: Autor.	36
Tabla 14, Tabla 10, Unidades de sangre incineradas en el 2017. Fuente: informe anual de la red nacional de bancos de sangre y servicios de transfusión, Colombia. 2017.....	38
Tabla 15, Diferencia entre demanda y oferta de unidades de sangre en el modelo de simulación. Fuente: Autor.	41
Tabla 16, Satisfacción a la demanda de hemocomponentes, Colombia. Fuente: Coordinación Red Nacional Bancos de Sangre y Servicios de Transfusión, INS ..	42

Lista de Anexos

Anexo 1. Reporte de Cambios y Ajustes47
Anexo 2, Manual del usuario.....48

GLOSARIO

Donante repetitivo (DR): Aquellos usuarios del sistema de donación de sangre que donan al menos dos veces al año.

Donante no repetitivo (DNR): Aquellos usuarios del sistema de donación de sangre que donan únicamente una vez al año.

Donante por primera vez (D1V): Aquellos usuarios del sistema de donación de sangre que donan por primera vez en sus vidas.

Donante por reposición y dirigido específico (DR&D): Aquellos usuarios del sistema de donación de sangre que donan para proveerle sangre a algún familiar o conocido.

Hemocomponente: Cualquier componente extraído de la sangre humana, ya sean glóbulos rojos o plaquetas.

RESUMEN

Este proyecto de investigación fue realizado con el objetivo de construir un modelo de simulación en base a la dinámica de sistemas para el sistema de bancos de sangre, en el cuál se pueda analizar el efecto que tiene en la colecta total de unidades de sangre, el aumentar o disminuir el número de campañas de colecta de sangre en un periodo de tiempo. En este modelo se analiza la dinámica en que los participantes del sistema (personas que donan sangre) pasan de ser donantes potenciales, a ser donantes por primera vez, para luego terminar siendo donantes repetitivos o no repetitivos, o en tal caso salir completamente del sistema. Esto permite entender cómo funciona el sistema y así mismo poder crear controles que permitan retener a los usuarios del sistema y que continúen participando de él como donantes repetitivos. El alcance del proyecto llegó hasta el análisis del efecto de aumentar o disminuir el número de campañas de colecta, sin embargo, el modelo propuesto está abierto para la implementación de nuevas variables de decisión y la generación de informes financieros que permitan analizar una tasa de retorno de la inversión.

Palabras claves: Dinámica de sistemas, Donación, Sangre, Número, Campañas.

1 Introducción

Las transfusiones sanguíneas son un procedimiento quirúrgico de vital importancia en el tratamiento de traumas y lesiones contundentes, actualmente en Colombia se demandan aproximadamente 920.000 unidades de sangre al año, de los cuales solo estamos en capacidad de abastecer 800.000, dejando en promedio 130.000 pacientes expuestos al deterioro de su salud, e inclusive la muerte. Por tal motivo se vuelve de vital importancia crear controles y estrategias que permitan disminuir la brecha entre la demanda y la oferta de unidades de sangre.

En distintos textos académicos, se especula que el número de campañas de sangre puede tener un efecto en la cantidad de unidades totales recolectadas, y que este puede ser contraproducente si se decide hacer demasiadas campañas, aumentando la cantidad de recursos invertidos y manteniendo la cantidad de donantes en el sistema.

1.1 Contexto, Justificación y Formulación del Problema

1.1.1. Contexto

Los bancos de sangre pueden ser definidos como un servicio de apoyo terapéutico direccionados a cumplir una función social de alta importancia, siendo su principal objetivo proveer sangre y componentes sanguíneos seguros que representen el menor riesgo de lesiones asociadas a la transfusión y el mayor beneficio para el receptor.

La logística de los bancos de sangre tiene que ser altamente efectiva y ejecutada de forma impecable, ya que incluso una unidad de sangre que no esté disponible puede significar la pérdida de una vida. Sin embargo, esta tarea posee un alto grado de complejidad, debido a que el sistema posee múltiples factores de muy alta variabilidad. Para empezar, independientemente de si se remunera o no a los donantes de sangre, el éxito de la agencia de recolección de sangre depende casi exclusivamente en la participación voluntaria de los miembros de la comunidad, aumentando el nivel de incertidumbre para este componente de la cadena. De igual manera, el comportamiento de la demanda de este fluido es difícil de predecir dado que esta se ve afectada por variables como accidentes, cirugías, riñas, etc. Además de esto, es importante resaltar que existen subprocesos en los eslabones de la red de abastecimiento que aumentan la complejidad del sistema, como porcentaje de la población que posee grupos sanguíneos poco frecuentes, el vencimiento de los hemocomponentes, o la cadena de frío.

Debido a que la obtención de la sangre solo puede ser a través de donaciones voluntarias, se añaden variables conductuales al sistema, por lo que es necesario tener en cuenta los factores que podrían influir en la decisión del usuario de participar en colectas de sangre, tanto positiva como negativamente, a estos factores se les conoce como motivantes e impedimentos. Entre los motivantes se pueden resaltar, motivos pro-sociales como altruismo, valores personales, necesidad percibida de donación, marketing y publicidad, e incentivos. Por el lado de los impedimentos o desmotivantes encontramos algunos como inconveniencia (puntos de colecta de sangre ubicados lejos del usuario), falta de interés, falta de conocimiento, experiencias negativas, miedos, creencias religiosas, entre otros.

En Colombia el promedio nacional de disponibilidad de sangre es de 12,0 unidades por cada 1.000 habitantes, y siete departamentos no cuentan con un banco de sangre y, por tanto, su disponibilidad depende del envío de sangre desde las ciudades donde haya capacidad de distribución. En la siguiente tabla, tomada del documento de la Política Nacional de Sangre del Ministerio de protección Social, se ilustra la situación al 2006:

Tabla 1, Disponibilidad y demanda de sangre en departamentos de Colombia, 2006.
Fuente: Ministerio de protección social, política nacional de sangre.

<i>Departamento</i>	<i>Disponibilidad (Unidades x mil hab.)</i>	<i>Demanda total estimada</i>	<i>Demanda por cubrir</i>
ANTIOQUIA	15,8	115224	23956
ARAUCA	5,9	5629	3969
ATLÁNTICO	14,4	47415	13305
BOGOTÁ	23,8	143718	-27.150
BOLÍVAR	6,7	44623	29765
BOYACÁ	3,1	28261	23866
CALDAS	10,2	23450	11524
CAQUETÁ	5,9	9302	6540
CASANARE	4,9	6508	4926
CAUCA	5	27350	20484
CESAR	10,1	21062	10420
CÓRDOBA	9	27935	15396
CUNDINAMARCA	3,4	46818	38935
GUAJIRA	6	10523	7359
HUILA	9,7	19932	10277
MAGDALENA	2,9	28123	24028
META	10,8	15457	7108
NARIÑO	3,6	35519	29110
N.SANTANDER	8,3	29884	17423
PUTUMAYO	1,3	7576	7073
QUINDÍO	4,2	12254	9662
RISARALDA	11,2	20511	8987
SANTANDER	12,6	41733	15528
SUCRE	6,7	17404	11534
TOLIMA	23,2	26321	-4150
VALLE	13,2	90648	30884
TOTAL	12	920902	368481

Como se evidencia en la Tabla 1, Disponibilidad y demanda de sangre en departamentos de Colombia, 2006, en la mayoría de los departamentos de Colombia la demanda supera la disponibilidad de unidades de sangre. Por lo que, en el contexto nacional, existe una problemática que se evidencia en la escasez de unidades de este fluido.

Teniendo en cuenta este preocupante contexto en el que se encuentra Colombia se vuelve esencial determinar estrategias orientadas a aumentar la disponibilidad de unidades de sangre en casi todas las regiones del país, para esto es necesario entender qué factores generan interés en el ciudadano elegible y cuales logran el efecto contrario.

1.1.2. Herramientas

Diagrama de subsistemas: Un diagrama de subsistemas muestra la arquitectura general del modelo. Cada subsistema mayor es mostrado con sus respectivas variables y sus flujos y relaciones con otros subsistemas que componen el sistema completo del modelo.

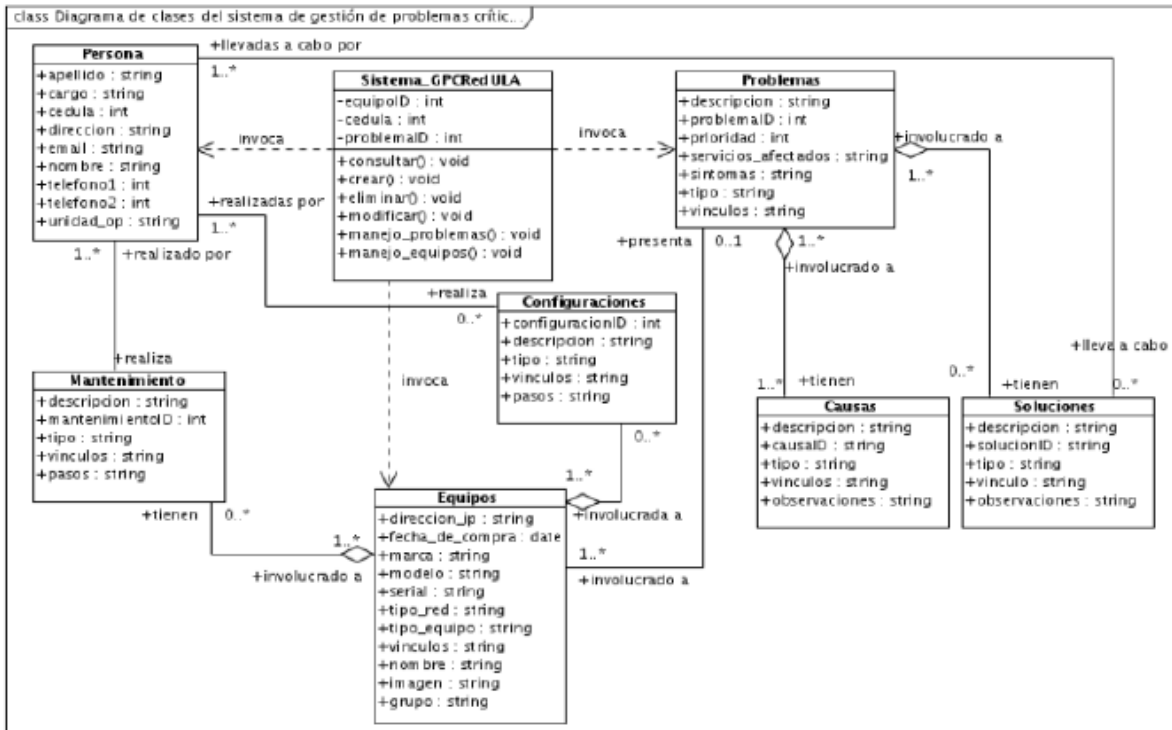


Figura 1, Ejemplo de diagrama de subsistemas.

Diagrama causal: Es un conjunto de elementos pertenecientes a un sistema que tienen relación entre sí mismos y permiten explicar el comportamiento observado dentro del sistema.



Figura 2, Ejemplo de diagrama causal.

Modelo de dinámica de sistemas: Es una herramienta de simulación con un enfoque conductista, a través del uso de datos empíricos para determinar el sentido y la correlación existente entre los diferentes factores. Es usada para pronosticar la evolución de un sistema al largo plazo.

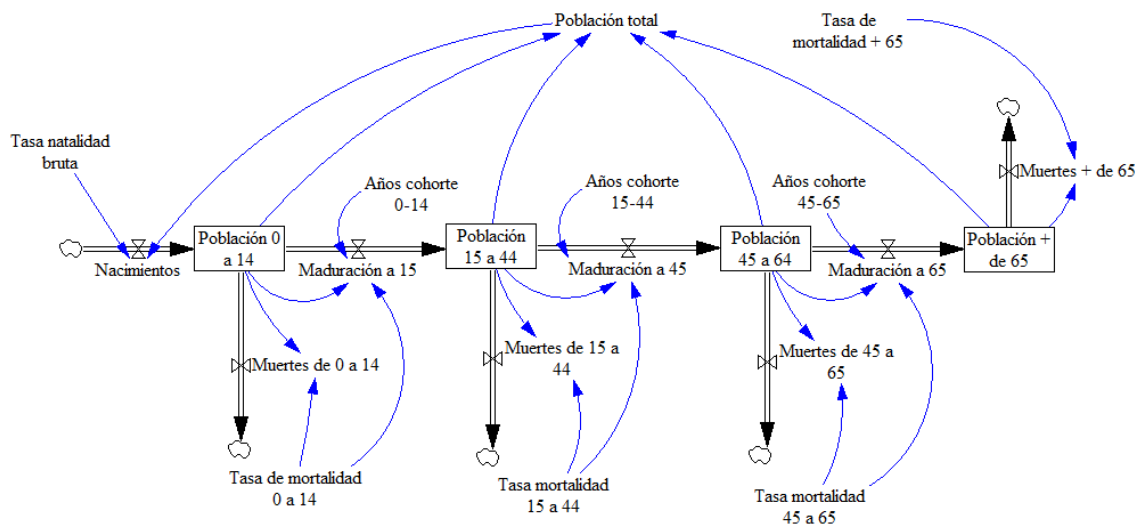


Figura 3, Ejemplo modelo de dinámica de sistemas, modelo demográfico.

1.1.3. Formulación de la pregunta de investigación u objeto de estudio

¿En qué magnitud las frecuencias de las campañas de colecta de sangre afectan la disponibilidad de unidades de sangre en el sistema de salud pública de Colombia?

1.1.4. Justificación o importancia de la situación objeto de estudio

Los entes encargados de la recolección de sangre se enfrentan a una demanda altamente variable por los componentes sanguíneos, a su vez posee una disponibilidad que depende casi exclusivamente de la participación activa por parte de los miembros de la comunidad vía donaciones voluntarias, por lo que entender los factores afectan la decisión del donante potencial de participar en una campaña de sangre, se vuelve de vital importancia para así poder hacer provecho de estos factores a través de la implementación de políticas y estrategias que permitan aumentar la oferta disponible de unidades de sangre en una región específica. Ahora, se vuelve esencial en los casos de regiones en las que la demanda supere de forma abrumadora a la disponibilidad de este recurso, tal como es el caso de Colombia, más específicamente Santiago de Cali.

2 Objetivos

2.1 Objetivo del Proyecto

Construir un modelo de dinámica de sistemas que describa cómo la frecuencia de las campañas de sangre actúa en el sistema de colecta de sangre, donde se pueda evaluar en qué medida la cantidad de campañas de sangre afecta las unidades totales recolectadas.

2.2 Objetivos Específicos

- Construir un diagrama de subsistemas que integre las relaciones de estos dentro del sistema de donación de sangre.
- Elaborar y validar un modelo demográfico que describa el crecimiento de la población colombiana.
- Elaborar y validar un modelo de simulación del sistema de bancos de sangre por medio de ecuaciones que relacionen las variables.
- Realizar un manual de usuario para el manejo de la herramienta.
- Escribir un artículo académico con base en los resultados.

Entregables:

- Diagrama de subsistemas.
- Diagrama causal.
- Modelo de simulación.
- Manual de usuario.
- Artículo académico.

3 Marco de Referencia

3.1 Antecedentes o Estudios Previos

Dentro del marco de investigación referente a factores que influyen en el proceso de decisión del donante de participar en una campaña de colecta de sangre, se han hecho numerosos artículos e investigaciones, teniendo registros de documentos desde 1950. Sin embargo, hasta la fecha no se cuenta con un estudio previo que presente un modelo de dinámica de sistemas como herramienta para estudiar en qué medida afectan los distintos factores conductuales a largo plazo al sistema de bancos de sangre.

A pesar de esto, existen muchos estudios relacionados que sirven como soporte para la creación de un modelo de dinámica de sistemas que describa el comportamiento de los donantes de sangre y los factores externos que puedan afectar su decisión de participar en esta práctica, como la recopilación de datos auto reportados de motivantes e impedimentos realizada por Bednall y Bove en el 2011, la cual consta de una población representativa compuesta de personas de distintas nacionalidades, géneros, edades y niveles educativos, con muestras de tamaños de 100 a 500 personas. En este documento se construye una taxonomía de los factores que afectan la decisión de donar de la población elegible para donar, y su prevalencia en distintos tipos de poblaciones.

Otro enfoque sumamente importante en el sistema es entender qué tipos de factores influyen en el usuario a lo largo de su carrera como donante, esto es porque una vez el usuario sea un donante frecuente, su decisión de donar en una siguiente ocasión va a ser afectada en distintos niveles que cuando un usuario nuevo, o cualquiera de las distintas etapas por las que puede atravesar como donantes. Estudios sugieren que este factor es significativo al analizar el sistema de donación de sangre: “En particular, los descubrimientos revelan una brecha entre donantes nuevos y donantes leales, en sus motivantes del tipo social y de protección de ego, pero no entre donantes leales y donantes regulares” (Guiddi, Alfieri, Marta, & Saturni, 2015).

Varios autores como Charbonneau, Cloutier y Carrier han buscado entender por qué los donantes de sangre dejan de participar en la práctica de la donación de sangre o en otras palabras, salen del sistema, o por el contrario, que factores impulsan a los usuarios a decidir donar sangre, con el objetivo de aprovechar este conocimiento para así impulsar el crecimiento de su oferta de hemocomponentes en las respectivas localidades donde se efectuó el estudio, es por esto que se debe ser cuidadoso al tratar de aplicar los resultados de este tipo de investigaciones en modelos que pretendan describir los comportamientos de los usuarios de áreas geoculturales distintas a la del respectivo autor, no por esto pierden valor alguno, y pueden ser considerados en el diseño de modelos de dinámica de sistemas.

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 necesario a todos los órganos y tejidos del cuerpo (Cruz Roja Colombiana, 2014). Es por esto que es indispensable para la vida. Además, la sangre es un componente importante para combatir las infecciones y sanar de las lesiones.

Recolección

La cadena de abastecimiento de un banco de sangre está constituida por diversos eslabones, sin embargo, la recolección es la etapa más relevante para este estudio. La recolección es el proceso que se realiza para la obtención de los componentes sanguíneos de los donantes, este paso comprende decisiones logísticas como ubicación de puntos de colecta, elección de personal capacitado, fechas estratégicas para aumentar el número de donantes, etc.

Bancos de sangre

En Colombia, está establecido en el decreto 1571 de 1993 que 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. Y además tiene como propósito asegurar la calidad de la sangre y sus derivados. Estas entidades prestan varios tipos de servicios, entre los cuales se incluye la bioseguridad de las personas, leucoféresis, procesamiento de sangre, pruebas de compatibilidad, servicio de transfusión sanguínea, entre otros.

Normatividad

La normatividad que regula a los bancos de sangre y los procedimientos de transfusión es numerosa y extensa, sin embargo, las más relevantes según el INVIMA en su documento ABC-Bancos de sangre son:

La ley 9 de 1979, que regula las materias que pueden ser objeto de prevención sanitaria,

la Resolución 901 de 1996, la cual se adopta el Manual de Normas Técnicas, Administrativas y de Procedimientos para bancos de sangre, la Resolución 3355 de 2009, que conforma el Comité de Promoción de la Donación Voluntaria y Habitual de Sangre, y finalmente la Resolución 000437 de 2014, que establece la práctica obligatoria de pruebas de anticuerpos contra el virus Linfotrópico de Células T humanas I/II (HTLV/II) y la detección de anticuerpos contra antígeno Core del virus de la hepatitis B (Anti HBc).

3.3 Contribución Intelectual o Impacto del Proyecto

La contribución intelectual del proyecto consta del aporte de una herramienta de simulación basada en la dinámica de sistemas que permite describir los comportamientos del sistema de donación de sangre frente a factores del tipo conductual y a su vez permite estudiar distintos escenarios al largo plazo, haciendo uso de una recopilación de datos que señala los principales motivantes e impedimentos que pueden afectar al usuario y en qué medida.

4 Metodología

Para cumplir con los objetivos propuestos de forma lógica y coherente se plantea la siguiente metodología ilustrada en el siguiente diagrama de flujo:

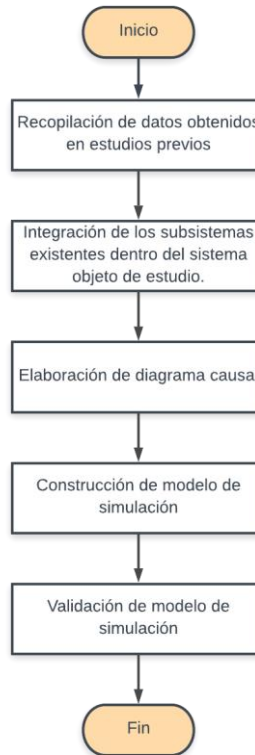


Figura 4, Diagrama de flujo de metodología.
Fuente: Autor.

A continuación, se detalla cada uno de los pasos de la metodología expuesta:

4.1 Recopilación de datos obtenidos en estudios previos

Fue necesario remitirse a investigaciones hechas sobre los factores que puedan influenciar positiva o negativamente al usuario antes de proceder a construir el modelo de dinámica de sistemas, debido a que estos permitían entender en cierta medida cómo se comportaban los usuarios de recolección de sangre ante distintos factores. Para esto se tuvo en cuenta distintos artículos enfocados a la recolección de datos vía encuesta tipo cuestionario para poder separar los principales motivantes e impedimentos de los usuarios. También se tuvo que investigar las regulaciones y limitaciones legales para poder modelar el sistema de manera adecuada en su respectivo contexto geo-político.

Adicional a esto, era necesario conocer el comportamiento actual de la demanda de unidades de sangre por parte de hospitales y clínicas locales, para así crear escenarios de predicción acordes a la realidad, esta demanda había sido previamente modelada por Osorio, Espitia, Pérez, Arenas, y Tofiño en su artículo “Blood Supply Chain Decision Making”, en el 2018. El comportamiento de la demanda, según este modelo, se presenta a continuación:

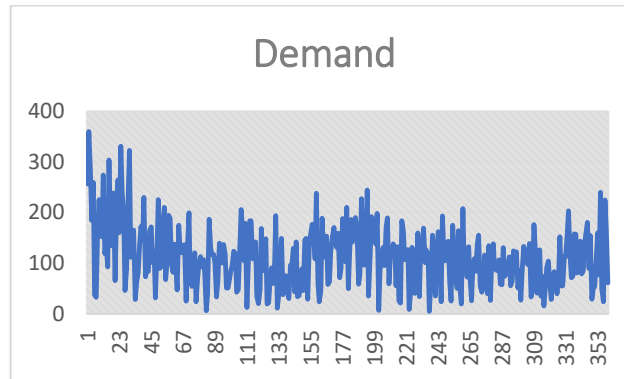


Figura 4, Comportamiento diario de la Demanda.
Fuente: Osorio, Espitia, Pérez, Arenas, & Tofiño.

4.2 Integración de los subsistemas existentes dentro del sistema objeto de estudio

Antes de poder crear un modelo de dinámica de sistemas, fue necesario entender estructuralmente cómo estaba conformado el sistema, analizar la arquitectura de este permitió encontrar relaciones entre sus componentes y cómo interactuaban con el sistema general.

4.3 Elaboración de diagrama causal

El siguiente paso fue la elaboración de un diagrama, que describiera las variables del sistema y explicara la relación de causalidad entre ellas, este sería sometido posteriormente a la implementación de fórmulas que simularan las interacciones en la realidad.

4.4 Construcción de modelo de simulación

Finalmente, a partir del diagrama causal que describe las relaciones e iteraciones entre donantes potenciales, ocasionales, y habituales con el resto del sistema de donación de sangre y finalmente con la frecuencia de campañas y factores conductuales, se procedió a construir un modelo de simulación alimentado por un modelo demográfico de la población colombiana, el cual a partir de fórmulas matemáticas alimentadas por datos históricos del sistema de donación de sangre pretende pronosticar cómo se comportará el sistema a futuro.

4.5 Validación del modelo de simulación

Una vez se tuvo un modelo de simulación con base en dinámica de sistemas funcional, se procedió a hacer la validación del mismo al comparar con datos la situación actual del sistema con el pronóstico del modelo de simulación para validar si este es fidedigno y puede ser utilizado para analizar el comportamiento del sistema al largo plazo.

4.6 Construcción de interfaz y manual de usuario

Finalmente, fue necesario dotar al modelo de simulación con una interfaz que fuese fácil de interpretar, que filtrara los procesos operativos y variables que no eran necesarios para el objetivo de la herramienta, para así simplificar su uso y permitir que fuese amigable con el usuario. Además de esto también se construyó un manual de usuario cuyo fin es facilitar el uso de la herramienta, y al que el usuario pudiera consultar en caso de tener dudas.

5 Caracterización del modelo de simulación

El primer paso para la realización del modelo de simulación fue la construcción de un diagrama de subsistemas capaz de describir cómo se relacionan los distintos actores dentro del sistema de donación de sangre, este se elaboró a partir del análisis del funcionamiento estructural del sistema objeto de estudio.

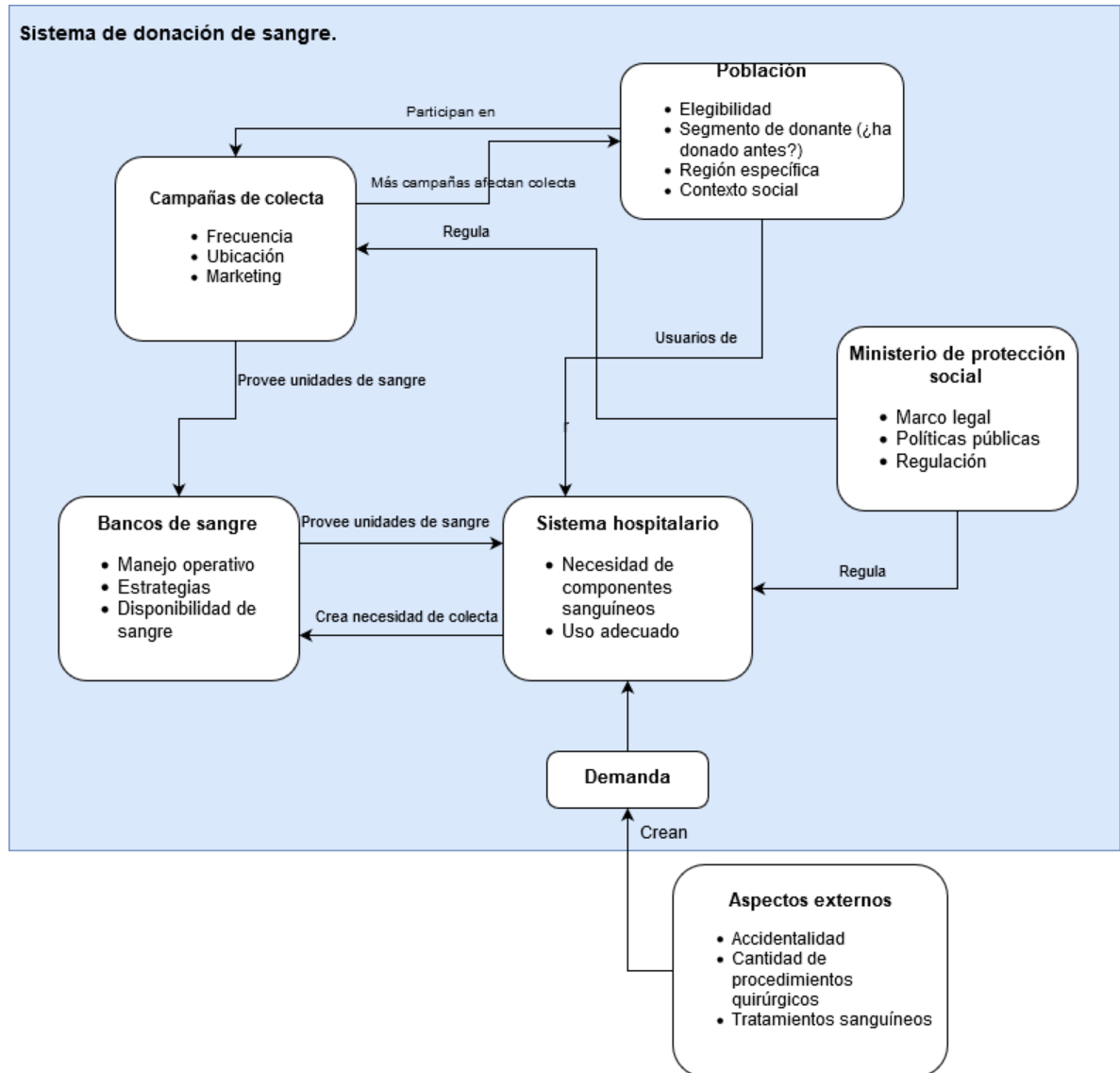


Figura 5, Diagrama de subsistemas del sistema de donación de sangre.
Fuente: Autor.

En la Figura 5, Se describen las relaciones de los subsistemas dentro del sistema de donación de sangre, los principales componentes de este son el sistema hospitalario que es el cliente de los bancos de sangre. Estos le proveen al sistema hospitalario de unidades de sangre y a su vez los bancos de sangre obtienen las unidades de sangre de la población donante, que participa en campañas de donación, y se ve afectada por distintas variables como elegibilidad, motivantes, detenimientos, contexto social, entre otras. Luego, existe otro subsistema que participa y regula el sistema completo; el ministerio de protección social, que establece el marco legal que regula las medidas sanitarias y el funcionamiento del sistema hospitalario y de bancos de sangre. Finalmente, por fuera del sistema se encuentran aspectos externos que de alguna manera afectan al sistema de forma directa, estas abarcan aspectos como índice de accidentabilidad en una zona específica, cantidad de procedimientos quirúrgicos y transfusiones sanguíneas, estos aspectos crean una demanda de unidades de sangre dentro del sistema hospitalario, lo cual crea la necesidad de recolección e impulsa el resto del sistema.

Una vez existió claridad de los agentes involucrados en el sistema se procedió a construir un diagrama que explicara las relaciones de causalidad dentro del sistema de donantes, este se encuentra expuesto a continuación:

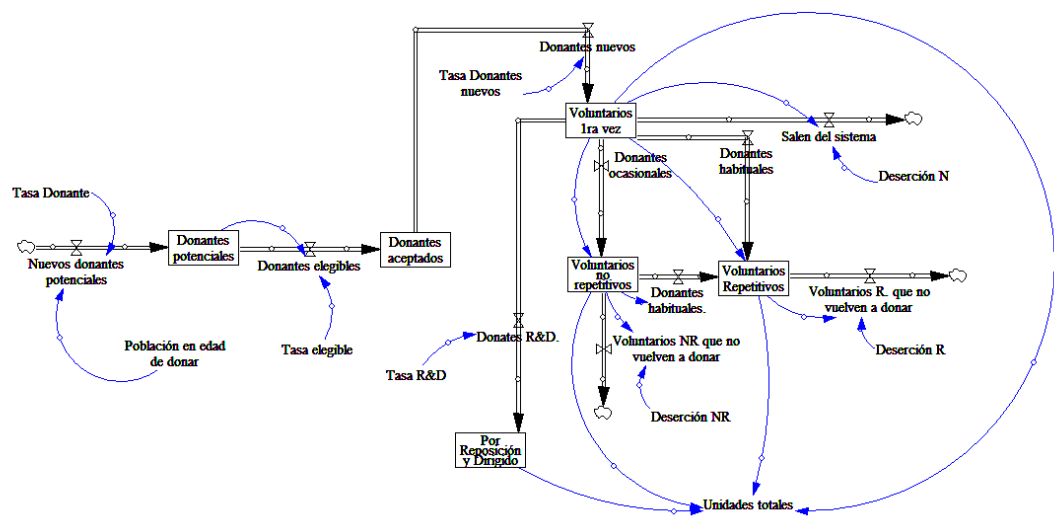


Figura 6, Diagrama causal donantes de sangre.
Fuente: Autor.

En esta figura se puede observar las principales relaciones causales identificadas en el sistema. Por un lado, la variable de mayor incidencia hace referencia a la de Donantes Potenciales, esto es un nivel que es alimentado por los nuevos donantes potenciales y se reduce a razón de los donantes elegibles, los cuales cumplen con los requisitos mínimos para ser aceptados como donantes de sangre. La parte de la población donante que cumple los requisitos luego se subdivide en cuatro posibles categorías: donantes por primera vez, donantes no repetitivos, donantes repetitivos, y donantes por reposición y dirigidos. Cabe resaltar que para pertenecer a cualquiera de estas categorías el donante tuvo que haber pertenecido primero a la categoría de donante por primera vez, por lo que esta variable alimentará al resto de categorías de acuerdo a las tasas históricas de cada tipo de donante. Finalmente, la suma de estas cuatro categorías generará el número de unidades totales obtenidas en el periodo de donación, para este modelo se trabajará en años con el fin de facilitar el pronóstico a largo plazo.

El siguiente paso que se ejecutó fue la creación del modelo de simulación. Como el sistema de donación de sangre en Colombia depende directamente de la donación voluntaria de la comunidad, los flujos y unidades que interactuarán en el sistema son las personas que participan de las campañas de sangre, por lo que fue necesario elaborar un modelo demográfico que describiera el crecimiento poblacional del país. Este modelo movilizará a la población al modelo de simulación del sistema de donación de sangre, en donde se discriminarán entre donantes potenciales, aceptados, repetitivos, no repetitivos, donantes por primera vez y donantes por reposición.

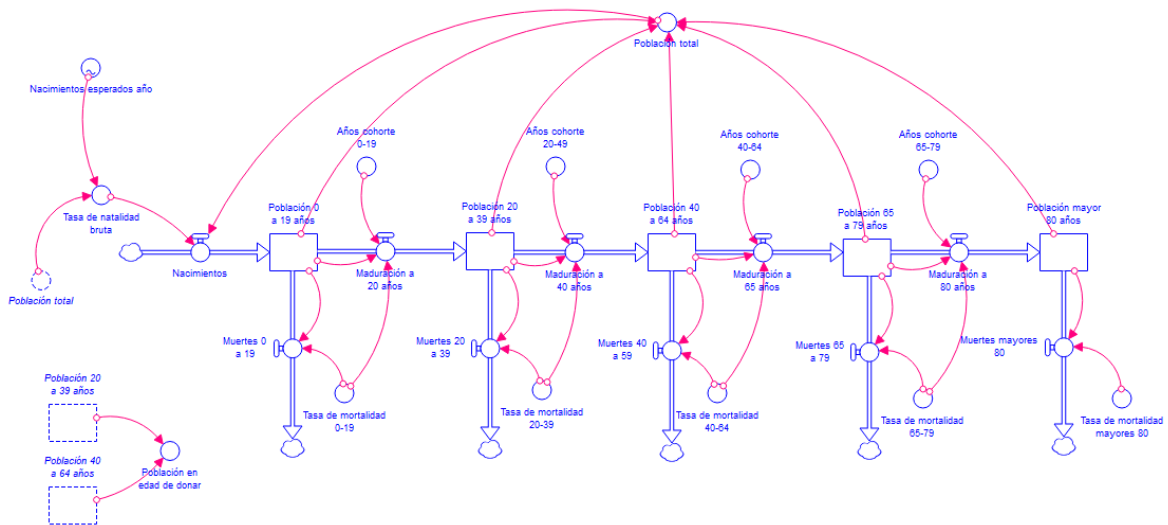


Figura 7, Modelo demográfico en Colombia.
Fuente: Autor.

Para construir el modelo poblacional, se necesita conocer la cantidad actual de personas que habitan el territorio colombiano, para esto se consultó a la entidad correspondiente, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Y la herramienta generadora de pirámides poblacionales de la página datosmacro.com.

Tabla 2, Población según rangos de edad.
Fuente: DANE

Rango de edad	Total
De 0 a 19 años	15567761
De 20 a 39 años	15946717
De 40 a 64 años	11835383
De 65 a 79 años	5012561
De 80 a 100 años	703190
	49065612

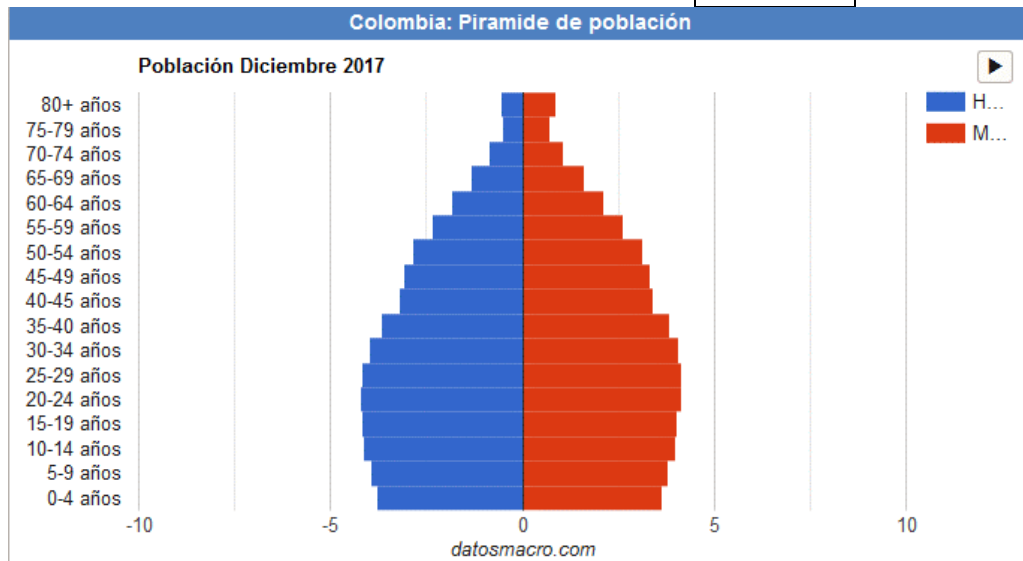


Figura 8, Pirámide poblacional Colombia.
Fuente: datosmacro.com

Según el DANE para el 2017 la población que habita el territorio colombiano consta de aproximadamente 49'065.612 personas, estos datos serán las condiciones iniciales del modelo. Se hace una agrupación por rangos de edad para facilitar la elaboración del modelo demográfico, teniendo en cuenta que luego se va a tener que discriminar a la población menor de 18 años y mayor a 65 años, debido a que estos no están habilitados para ser donantes de sangre según la Cruz Roja Colombiana. Sin embargo, varios de los datos recolectados por el DANE con respecto a temas de natalidad y mortalidad hacían esta discriminación a partir de los 19 años, por lo que el modelo tendrá que pronosticar a partir de los datos que se encuentran disponibles.

El siguiente dato que se requiere para el modelo demográfico es la tasa de nacimientos, sin embargo, de acuerdo con el informe de cifras definitivas del DANE, se ha presentado una tendencia decreciente en los nacimientos en el territorio nacional en los últimos diez años, con cierto grado de variabilidad (DANE, 2018). por lo que sería erróneo adjudicarle una sola tasa de nacimientos a todo el modelo.

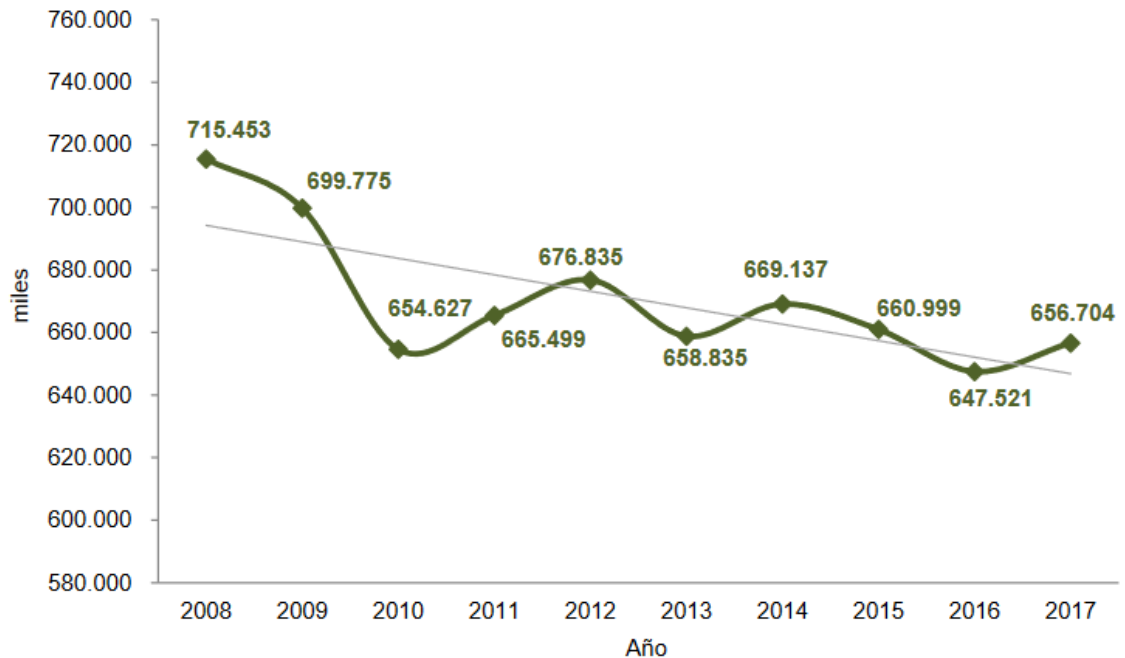


Figura 9, Número de nacimientos en los últimos diez años en Colombia. Total nacional Año 2008-2017.
Fuente: Estadísticas vitales, cifras definitivas 2017 – DANE.

Se resuelve tomar los datos del número de nacimientos en los últimos diez años en Colombia para hacer un análisis de regresión, y a partir de este, estimar la cantidad de nacimientos de los siguientes veinte años, estos datos estimados servirán para determinar la tasa de natalidad ajustada en cada uno de los periodos de la simulación.

Tabla 3, Análisis de regresión del número de nacimientos en Colombia del 2008 al 2017.
Fuente: Autor.

<i>Estadísticas de la regresión</i>					
Coefficiente de correlación múltiple			0,743976576		
Coefficiente de determinación R ²			0,553501145		
R ² ajustado			0,497688789		
Error típico			15203,40588		
Observaciones			10		
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	2292292015	2292292015	9,91717922	0,01361581
Residuos	8	1849148403	231143550		
Total	9	4141440419			
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	
Intercepción	11278791,91	3368606,226	3,34820729	0,01010717	
Variable X 1	-5271,181818	1673,839898	-3,14915532	0,01361581	

Tabla 4, Número de nacimientos esperados en Colombia del 2018 al 2036.
Fuente: Autor.

Año	Nacimientos esperados
2018	641547
2019	636276
2020	631005
2021	625734
2022	620463
2023	615192
2024	609920
2025	604649
2026	599378
2027	594107
2028	588836
2029	583564
2030	578293
2031	573022
2032	567751
2033	562480
2034	557209
2035	551937
2036	546666

El número de nacimientos de cada uno de los años será dividido por la población total (el modelo demográfico estimará este dato mientras la simulación es ejecutada) para obtener la tasa de natalidad aproximada. Esta tasa se multiplicará por la población total para generar el número de nacimientos, y a su vez el número de nacimientos alimentará el primer nivel o inventario del modelo, el cual se compone de los habitantes del territorio nacional cuyas edades se encuentre entre los cero y diecinueve años, y este luego alimentará al siguiente rango de edad de acuerdo a la Tabla 2, Población según rangos de edad. Fuente: DANE. Este inventario puede disminuir por dos motivos, el primero debido a las defunciones de personas entre el rango de edad, y el segundo debido a las personas que alcanzan la edad suficiente para pasar al siguiente rango de edad. Para determinar cuántas personas salen del sistema al fallecer se hace uso de los porcentajes de defunciones por edad recopilados por el DANE, expuesto a continuación:

Tabla 5, Defunciones, según grupos de edad del fallecido.
Fuente: Estadísticas vitales, cifras definitivas 2017 – DANE.

Rango de edad	Porcentaje	Total
Menores de 1 año	3,1%	7056
De 1 año	0,3%	682
De 2 a 4 años	0,4%	910
De 5 a 9 años	0,4%	910
De 10 a 14 años	0,5%	1138
De 15 a 19 años	1,7%	3869
De 20 a 24 años	2,5%	5690
De 25 a 29 años	2,4%	5462
De 30 a 34 años	2,3%	5235
De 35 a 39 años	2,3%	5235
De 40 a 44 años	2,3%	5235
De 45 a 49 años	3,0%	6828
De 50 a 54 años	4,0%	9104
De 55 a 59 años	5,3%	12064
De 60 a 64 años	6,7%	15250
De 65 a 69 años	7,9%	17982
De 70 a 74 años	9,0%	20486
De 75 a 79 años	11,3%	25721
De 80 a 84 años	12,3%	27997
De 85 a 89 años	11,6%	26404
De 90 a 94 años	7,2%	16388
De 95 a 99 años	2,9%	6601
De 100 años y más	0,7%	1593

Edad desconocida	0,0%	0
------------------	------	---

Tabla 6, Defunciones, según rangos de edad reagrupados.
Fuente: Estadísticas vitales, cifras definitivas 2017 – DANE.

Rango reagrupado	Porcentaje	Total
De 0 a 19 años	6,4%	14567,936
De 20 a 39 años	9,5%	21624,28
De 40 a 64 años	14,6%	33233,104
De 65 a 79 años	34,9%	79440,776
De 80 a 100 años	34,7%	78985,528

Tabla 7, Tasas de mortalidad según rango de edad reagrupado.
Fuente: Estadísticas vitales, cifras definitivas 2017 – DANE.

Tasa mortalidad aproximada 2017	0,004639176
--	-------------

Rango reagrupado	Tasa de mortalidad calculada	Trimestral
De 0 a 19 años	0,000935776	0,000233944
De 20 a 39 años	0,001356033	0,000339008
De 40 a 64 años	0,002807945	0,000701986
De 65 a 79 años	0,015848341	0,003962085
De 80 a 100 años	0,112324589	0,028081147

A partir de las tasas de mortalidad según el rango de edad reagrupado expuestas en la tabla 7, se calcula la cantidad de defunciones por grupo en el modelo demográfico.

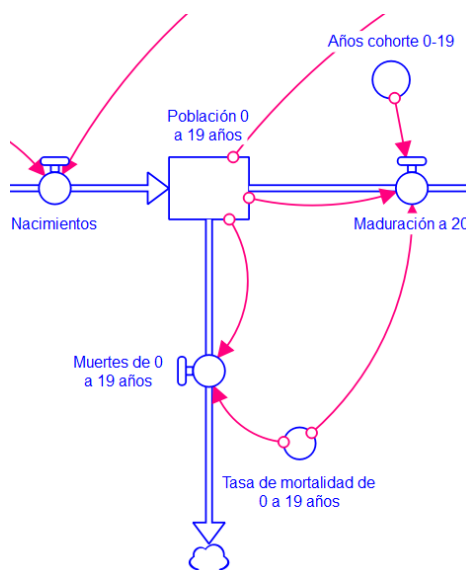


Figura 10, Representación de salidas del sistema por defunción.
Fuente: Autor.

Para determinar el número de personas que alcanzan el siguiente rango de edad se hace uso de la siguiente fórmula.

$$P. \text{ Que alcanza siguiente rango} = \text{Población} * \frac{1 - \text{Tasa mortalidad}}{\text{Años dentro del rango}}$$

Este proceso se realiza con cada uno de los rangos de edad expuestos en la tabla 2, luego se crea una nueva variable llamada población total, la cual se compone de la suma de cada una de las personas que se encuentran vivas en cada uno de los rangos establecidos.

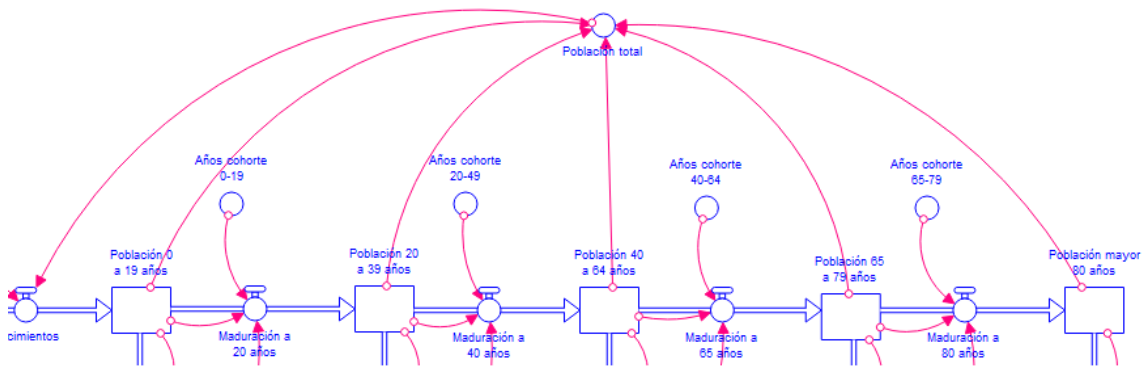


Figura 11, Representación de la población total en modelo demográfico.
Fuente: Autor.

En este punto el modelo demográfico ya funciona correctamente y está listo para proporcionar los datos necesarios para alimentar el modelo de simulación del sistema de donación de sangre, sin embargo, hace falta discriminar la población menor a dieciocho años y mayor a 65 años del resto, debido a que estos legalmente no pueden donar sangre, para esto simplemente se suman la población que se encuentra en el rango legal para realizar donaciones.

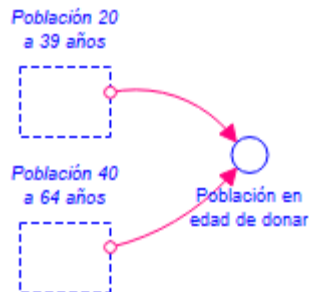


Figura 12, Representación de la población en edad de donar en el modelo demográfico.
Fuente: Autor.

Una vez hecha esta corrección se obtienen los siguientes datos del modelo demográfico.

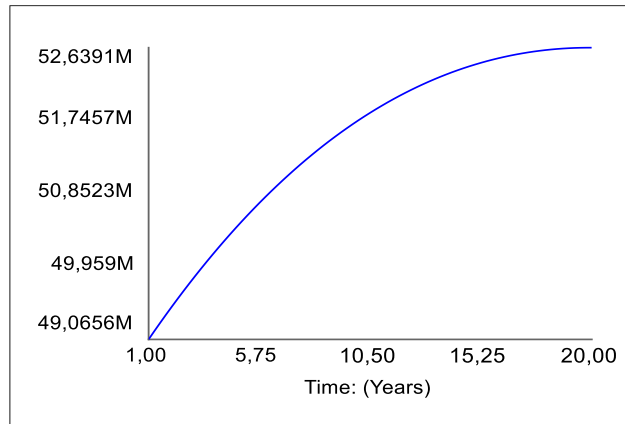


Figura 13, Curva de crecimiento poblacional en Colombia en los siguientes 20 años.
Fuente: Autor.

A continuación, en la tabla 8 se encuentran las cantidades de personas exactas que pronostica el modelo demográfico hasta el 2036.

Tabla 8, Población Colombia en los siguientes 20 años.
Fuente: Autor.

Año	Run 1
1	49065612
2	49468642
3	49843707,3
4	50191606,4
5	50513113,6
6	50808981,4
7	51079941,6
8	51326707,1
9	51549974,6
10	51750423,4
11	51928717,6
12	52085505,9
13	52221423,1
14	52337091,3
15	52433118,8
16	52510101,2
17	52568621,4
18	52609249,7
19	52632544,6

Luego de tener un modelo demográfico funcional se empieza a desarrollar el modelo de simulación para el sistema de donación de sangre.

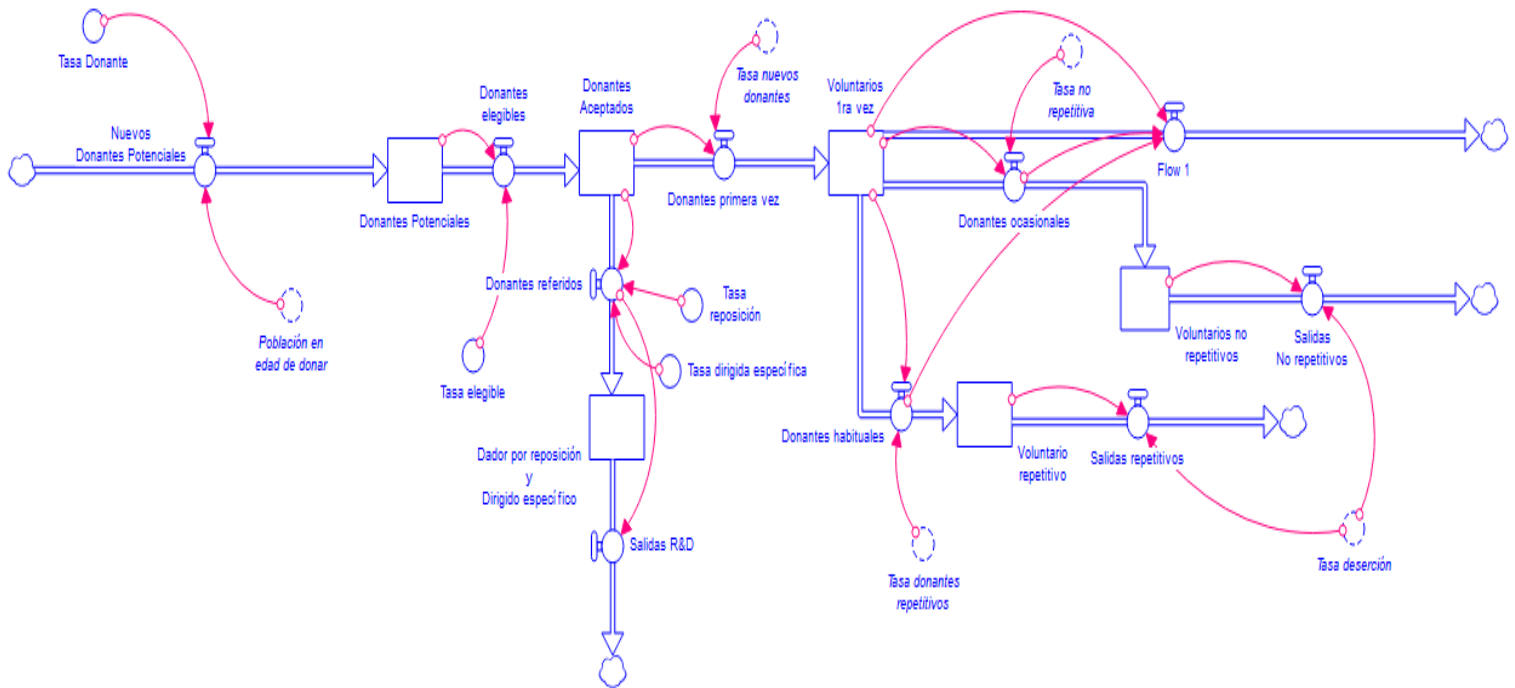


Figura 14, Modelo de simulación del sistema de donación de sangre.
Fuente: Autor.

Para el modelo de simulación se parte del diagrama causal expuesto en la Figura 6, Diagrama causal donantes de sangre. Fuente: Autor. La principal diferencia radica en que ahora a partir del número de donantes aceptados se generan todos los tipos de donantes de acuerdo al registro histórico recopilado por la Red Nacional de Bancos de Sangre y Servicios de Transfusión.

Tabla 9, Recopilación de tipos de donantes por año.

Fuente: informes anuales de la red nacional de bancos de sangre y servicios de transfusión, Colombia.

Año	Total	Porcentaje %				Unidades de sangre absolutas			
		1V	R	NR	D&R	1V.	R.	NR.	D&R.
2005	527711	39,4%	7,4%	8,7%	44,2%	208045	38938	45748	233338
2006	552391	44,1%	8,4%	8,6%	38,7%	243496	46625	47403	213924
2007	582011	46,9%	9,6%	10,3%	33,0%	273132	55733	59839	192276
2009	614752	44,4%	13,7%	10,7%	31,1%	272721	84296	66057	190901
2010	692487	46,1%	18,2%	11,4%	24,3%	319491	125737	78601	168135
2011	710825	51,0%	18,7%	12,8%	17,4%	362209	132954	91199	124038
2012	746059	49,6%	19,8%	15,0%	15,6%	369674	147482	112130	116501
2013	740173	50,8%	19,0%	16,9%	13,2%	376008	140633	125090	97703
2014	756370	52,1%	19,6%	16,9%	11,4%	394069	148249	127827	86227
2015	795792	49,8%	19,5%	21,8%	8,9%	396305	155180	173483	70826
2016	817004	44,9%	21,0%	26,0%	8,0%	366835	171571	212422	65361
2017	830291	45,8%	22,2%	26,4%	5,7%	380274	184325	219197	47327

1V: Donantes primera vez, R: Donantes repetitivos, NR: Donantes no repetitivos, D&R: Donantes dirigidos y por reposición. El total hace referencia al número total de donaciones en el año indicado.

Se parte del supuesto de que todas las poblaciones iniciales son las mismas poblaciones que tuvo el sistema de donación de sangre para finales del año 2017. Luego el modelo empieza a ser alimentado por la población en edad para donar (ver Figura 12, Representación de la población en edad de donar en el modelo demográfico.

Fuente: Autor.), esta población se multiplica por la tasa donante, dicha multiplicación generará los donantes potenciales o personas con intención de donar.

La tasa donante se genera a dividiendo la cantidad de donantes en el 2017 sobre la población en edad de donar en el 2017, este dato se utilizará a lo largo de la simulación.

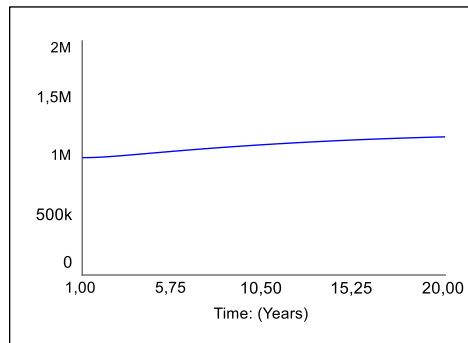


Figura 15, Curva de crecimiento de la población donante.

Fuente: Autor.

Sin embargo, no todas las personas que tienen la intención de ser donante de hemocomponentes logra pasar los filtros de elegibilidad, por lo que una parte de esta población es rechazada, esto se representa en el modelo de simulación como la tasa de elegible, la cual históricamente se ha encontrado alrededor del 82,8% (Red nacional de bancos de sangre y servicios de transfusión, 2017). Ese porcentaje de la población que pasa las pruebas de elegibilidad se le denominará donantes aceptados, de los cuales luego pasarán a ser donantes por primera vez o donantes por reposición, estos últimos se tratan por aparte debido a que como esa población está donando sangre para una persona en específico no hace parte de la dinámica de donantes que busca estudiar esta investigación. Luego, de estos donantes que participan por primera vez, una fracción se convertirá en donantes repetitivos, otra se convertirá en donantes no repetitivos, y la gran mayoría saldrá del sistema. La fracción de donantes por primera vez que pasa a hacer parte del sistema de donantes de sangre está condicionada por tasas de transición para ambos tipos de donantes, repetitivos y no repetitivos, el valor de estas tasas está sujeto al número de campañas y cambia a medida que el usuario le da un valor distinto a la cantidad de campañas.

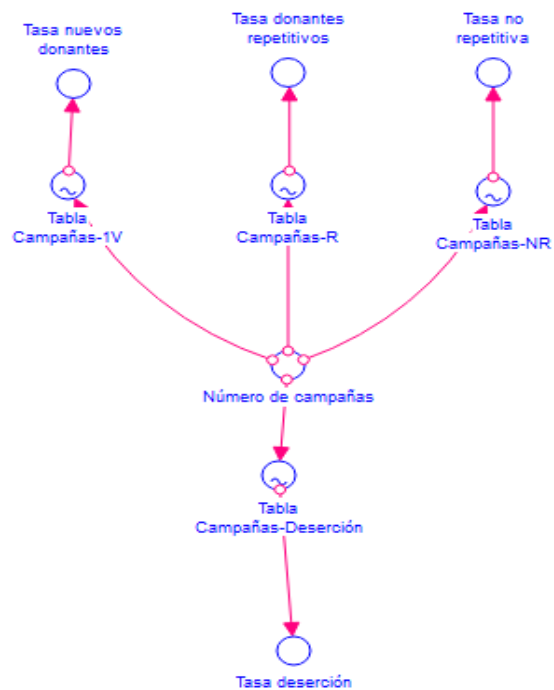
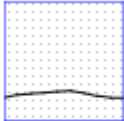



Figura 16, Tasas de donantes de acuerdo al número de campañas.
Fuente: Autor.

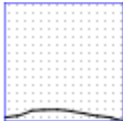

El comportamiento de las tasas de acuerdo al número de campañas se encuentra descrito a continuación.

Tabla 10, Relación número campañas-Tasa donantes primera vez.
Fuente: Autor.

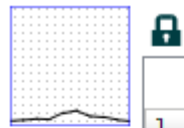
	Númer...pañas	Tabla Campañas-1V
1	1,000	0,390
2	2,000	0,4416
3	3,000	0,4616
4	4,000	0,4744
5	5,000	0,4959
6	6,000	0,5099
7	7,000	0,4732
8	8,000	0,4231
9	9,000	0,392
10	10,000	0,392

Tabla 11, Relación número campañas-Tasa donantes repetitivos.
Fuente: Autor.

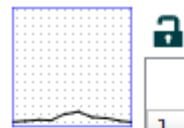
	Númer...pañas	Tabla Campañas-R
1	1,000	0,074
2	2,000	0,106044444444
3	3,000	0,188933333333
4	4,000	0,204
5	5,000	0,207777777778
6	6,000	0,184888888889
7	7,000	0,148666666667
8	8,000	0,104055555556
9	9,000	0,076433333333
10	10,000	0,020

Tabla 12, Relación número campañas-Tasa donantes no repetitivos.
Fuente: Autor.



	Númer...pañás	Tabla C...añas-NR
1	1,000	0,086961976
2	2,000	0,102996661
3	3,000	0,124129454
4	4,000	0,113586245
5	5,000	0,218000432
6	6,000	0,264000212
7	7,000	0,169000621
8	8,000	0,15035124
9	9,000	0,107589071
10	10,000	0,085960961

Tabla 13, Relación número campañas-Tasa deserción.
Fuente: Autor.



	Númer...pañás	Tabla Ca...eserción
1	1,000	0,086961976
2	2,000	0,102996661
3	3,000	0,124129454
4	4,000	0,113586245
5	5,000	0,218000432
6	6,000	0,264000212
7	7,000	0,169000621
8	8,000	0,15035124
9	9,000	0,107589071
10	10,000	0,085960961

Los datos variables, es decir las tasas, presentados en las anteriores tablas, corresponden a los datos históricos de participación en campañas de sangre del 2005 al 2017, y no reflejan el comportamiento de la participación en relación al número de campañas de sangre, se decidieron utilizar debido a la falta de estudios nacionales con respecto al tema, y queda abierto para que en un futuro cuando se realicen las investigaciones pertinentes se puedan modificar para que reflejen la realidad del contexto de los bancos de sangre en Colombia.

Luego, así como entran usuarios al sistema de donación de sangre, tendrán que ir saliendo, estas salidas en el sistema real son los usuarios que donaron y no volvieron a donar en sus vidas, salieron completamente del sistema. Estos serán representados en el modelo de simulación a través de una tasa de deserción que dependerá de igual manera del número de campañas (ver Tabla 13, Relación número campañas-Tasa deserción.) Esta tasa de deserción se multiplicará por las cantidades poblacionales de cada una de las categorías de donantes aceptados, para así generar salidas del sistema.

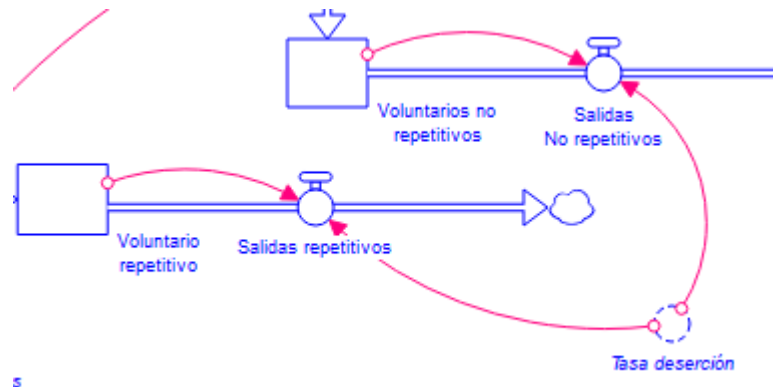


Figura 17, Representación de salidas de usuarios del sistema de donación de sangre en el modelo de simulación.

Fuente: Autor.

Finalmente se calculará el número de unidades de sangre recolectadas por año, este cálculo se efectúa sumando cada una de las categorías de donantes, luego se tendrá que tener en cuenta que no todas las unidades de sangre recolectadas pasan a ser usadas luego en procedimiento quirúrgicos, debido que un porcentaje de estas se rechazan y luego se incineran por diversos motivos como reactividad (existencia de enfermedades en la sangre), vencimiento de los hemocomponentes, control de calidad, almacenamiento inadecuado, volumen inadecuado, entre otras causas. En el 2017 se incineraron el 3.2% de las unidades debido a causas controlables y el 1.7% debido al vencimiento de los hemocomponentes, dando un total de 4.9% de las unidades de sangre incineradas. (red nacional de bancos de sangre y servicios de transfusión, 2017).

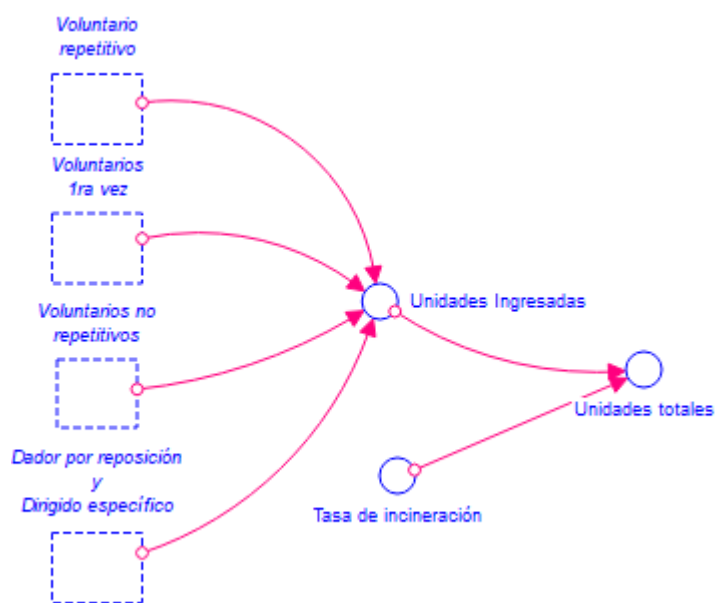


Figura 18, Representación de unidades totales en el modelo de simulación.
Fuente: Autor.

Tabla 14, Tabla 10, Unidades de sangre incineradas en el 2017.
Fuente: informe anual de la red nacional de bancos de sangre y servicios de transfusión, Colombia. 2017.

Código Nacional	Unidades de Sangre total obtenidas	Donaciones por Aféresis tamizadas	%Reactividad acumulada	%Donación Voluntarios repetitivos	%Incineración G.R. causas controlables*	%Incineración G.R. por vencimiento**
Total Nacional	830.291	46.020	3,6	22,1	3,2	1,7

Luego de desprestigiar las unidades de sangre incineradas por las distintas causas, se obtienen las unidades totales, las cuales serán usadas para comparar con las respectivas demandas de unidades de sangre en cada año.

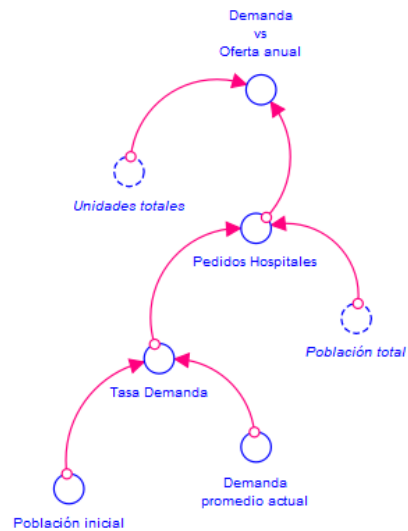


Figura 19, Representación de demanda vs oferta anual de unidades de sangre en el modelo de simulación.
Fuente: Autor.

Seguido de esto se calcula la tasa de demanda de unidades de sangre dividiendo la demanda promedio actual, la cual es de 903473 unidades anuales (red nacional de bancos de sangre y servicios de transfusión, 2017), entre la población inicial, que en el modelo demográfico se había definido como 49,1 millones aproximadamente. Luego se calcula la cantidad anual de pedidos de unidades de sangre por parte de los hospitales, o, en otras palabras, la demanda de hemocomponentes, esta se calcula multiplicando la tasa de la demanda por la población total de cada año. Para finalizar, se calcula la relación entre la demanda y la oferta de unidades de sangre, esta consiste en restar los pedidos hechos por los hospitales de las unidades totales de sangre recolectadas.

6 Resultados

El primer resultado que generó la simulación son las unidades de sangre producidas, como se evidencia en la Figura 20, tras un periodo de crecimiento rápido en los primeros años, las unidades recolectadas tienden a tener un crecimiento moderado en el resto de la simulación. Este comportamiento se puede deber probablemente a que en el modelo demográfico que genera a la población que se habilita para donar, la cantidad de personas aptas para donar disminuye con el tiempo debido al cambio demográfico que está ocurriendo en el país actualmente.

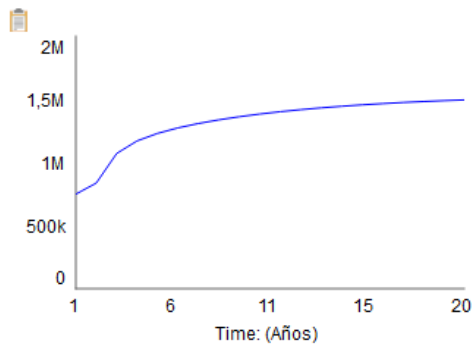


Figura 20, Unidades totales de sangre recolectadas por año.

Fuente: Autor.

El siguiente resultado son la diferencia entre las unidades de sangre obtenidas y las unidades de sangres demandadas por el sistema de salud colombiano, como se evidencia en la Figura 21, durante un cuarto de la simulación el sistema de bancos no se encontraba en capacidad de abastecer la demanda de unidades de sangre, lo cual refleja la realidad actual si lo comparamos con la Tabla 1. Sin embargo, luego del quinto año, el sistema de bancos de sangre logra recolectar suficiente sangre para cumplir con la demanda proyectada para ese año e incluso tener unidades de sobra, esto se puede corroborar en la Tabla 15.

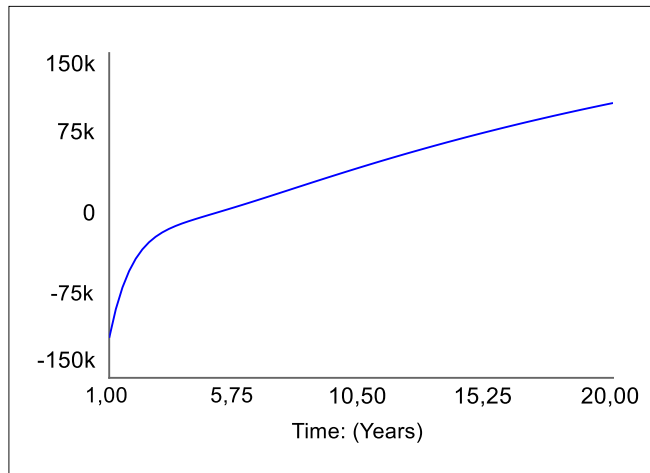


Figura 21, Diferencia entre demanda y oferta de unidades de sangre en los siguientes 20 años en el modelo de simulación.
Fuente: Autor.

Tabla 15, Diferencia entre demanda y oferta de unidades de sangre en el modelo de simulación.
Fuente: Autor.

Año	Run 1
1	-113075,027
2	-39986,1482
3	-15686,0318
4	-5291,39333
5	2198,04821
6	9615,70594
7	17362,8743
8	25279,8326
9	33169,0034
10	40898,528
11	48396,9849
12	55631,3268
13	62589,6588
14	69270,8502
15	75678,9677
16	81820,4313
17	87702,6376
18	93333,3184
19	98720,2347
20	103871,031

Estos resultados se usaron a modo de validación del sistema, ya que actualmente la diferencia entre la cantidad de unidades de sangre disponibles y la demanda es de aproximadamente 130.000 unidades de sangre que el sistema de bancos de sangre es incapaz de proveer, al analizar el modelo a largo plazo podemos ver que, en la situación actual del sistema, esta diferencia va a tender a disminuir. Al comparar este crecimiento con el actual podemos observar que no está muy alejado de la realidad, ya que se ha venido registrando una tendencia positiva en la satisfacción de la demanda de hemocomponentes en los últimos años, por lo que se puede esperar que en los siguientes años se satisfaga completamente.

Tabla 16, Satisfacción a la demanda de hemocomponentes, Colombia.
Fuente: Coordinación Red Nacional Bancos de Sangre y Servicios de Transfusión, INS

Hemocomponente	Porcentaje de satisfacción a la demanda		
	2015	2016	2017
Glóbulos Rojos	84,5	88,8	91,9
Plaquetas	89,1	90,2	93,5

Una vez se validó el modelo de simulación se pudo generar el resultado objetivo de esta investigación, una herramienta en la que el usuario pueda experimentar cambiando el número de campañas a realizar cada año y obtener en tiempo real un resultado que describa el comportamiento entre la oferta y la demanda de unidades de sangre. Esto es posible gracias a la dinámica implementada que se encuentra explicada en la Figura 16. Sin embargo, su interfaz complicada lo vuelve inadecuado para que lo opere una persona que desconozca cómo funciona el modelo, por lo cual surge la necesidad de proporcionarle una interfaz amigable que omita los detalles operativos y solo exponga las variables con las que puede interactuar el usuario y le permita ver los resultados más relevantes, presentados en gráficas y tablas. La interfaz se encuentra expuesta en la Figura 22, Interfaz usuario modelo de simulación.

Fuente: Autor.

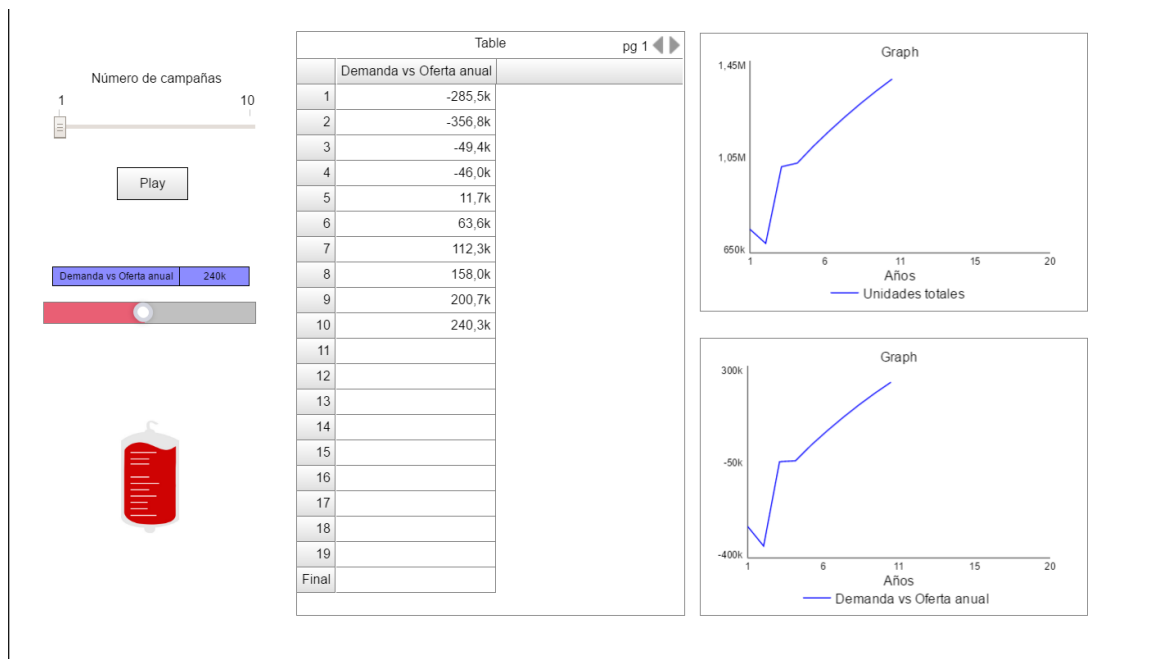


Figura 22, Interfaz usuario modelo de simulación.
Fuente: Autor.

Para facilitar su operación, también se construyó un breve manual del usuario que se encuentra adjunto al final del documento, como Anexo 2, Manual del usuario.

Finalmente se construyó el documento académico que sintetiza todo el trabajo investigativo, este se encuentra adjunto al final del documento, como Anexo 3, Artículo académico.

6.1 Conclusiones

El modelo en cuestión es capaz de reflejar en cierta medida la realidad en el contexto colombiano del comportamiento del sistema de bancos de sangre, sin embargo, como se pudo evidenciar en la etapa de resultados, existe un margen de error que debe ser corregido para lograr resultados más contundentes, esto debido a que el objetivo de una simulación es representar un modelo de la vida real, y a partir de este poder tomar decisiones que a futuro afecten una o más variables del sistema.

En distintos trabajos investigativos es mencionado que el número de campañas de sangre que se realicen en un año tiene una relación con la cantidad de unidades de sangre recolectadas, y no siempre de manera lineal, es decir, sugieren que después de cierto punto se vuelve contraproducente seguir realizando campañas de colecta debido a que podría desensibilizar a la población frente a la problemática de la escasez de sangre. Sin embargo, no existen estudios nacionales que documenten con cifras este tipo de comportamiento, por lo que se vuelve necesario recurrir a

datos de otros países o esperar a que se publique la información pertinente para que el modelo se encuentre en capacidad de generar datos relevantes para tomar decisiones con respecto al número de campañas de sangre.

Como punto final, esta herramienta permite predecir el comportamiento del sistema de bancos de sangre frente a una única variable de decisión, por lo que antes de que esta pueda ser usada para tomar decisiones dentro del sistema real, es necesario ampliar el alcance de la herramienta e incluir otras variables de decisión como temáticas y enfoques de campañas de concientización, ubicación de los puestos móviles, manejo de la cadena de frío, incentivos, tasa de retorno sobre la inversión, entre otras que no fueron incluidas en el presente estudio debido a que por su complejidad, no hubiera sido posible incluirlas en el plazo de tiempo establecido.

6.2 Recomendaciones¹

Recomendaciones a la empresa o sector de aplicación: Se recomienda profundizar en la recolección de datos que permita determinar una correlación entre el número de campañas de sangre y las unidades totales recolectadas, dentro del contexto nacional, para así, poder utilizar la herramienta en la toma de decisiones.

Recomendaciones para investigaciones futuras: Este modelo de simulación tiene el potencial de ser una herramienta muy útil para determinar el impacto que ciertas medidas dentro del sistema de bancos de sangre tendrán al largo plazo, sin embargo, debido a que el alcance del proyecto se veía limitado por el plazo de tiempo de entrega establecido, no pudieron ser incluidas suficientes variables de decisión para que el modelo de simulación estuviera en condiciones de generar datos pertinentes como la tasa de retorno de inversión para así medir también la efectividad de las campañas y su relación con las cantidades invertidas en ellas. Se recomienda al continuar con este proceso investigativo consultar fuentes que permitan relacionar nuevas variables de decisión que incluyan aspectos que motiven o desmotiven a la población de participar en campañas de donación de sangre, entre otras variables relevantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Charbonneau, J., Cloutier, M. S., & Carrier, É. (2016). Why Do Blood Donors Lapse or Reduce Their Donation's Frequency? *Transfusion Medicine Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.tmr.2015.12.001>
- Colombia, R. de. (1993). Decreto Número 1571 de 1993. *Diario Oficial*, 1993(40), 27. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gillespie, T. W., & Hillyer, C. D. (2002). Blood donors and factors impacting the blood donation decision. *Transfusion Medicine Reviews*. <https://doi.org/10.1053/tmr.2002.31461>
- Guiddi, P., Alfieri, S., Marta, E., & Saturni, V. (2015). New donors, loyal donors, and regular donors.pdf.
- Invima, INS, S. y proteccion social ministerio. (2014). ABC Bancos de sangre puestos fijos y móviles de recolección. *Imprenta Nacional de Colombia*, 74.
- Muriel, O., & Felipe, A. (2015). A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision making. *International Journal of Production Research*
- Timothy C. Bednall, L. L. B. (2011). Donating Blood: A Meta-Analytic Review of Self-Reported Motivators and Deterrents. *Transfusion Medicine Reviews*, 25(4), 317–334.
- Veerus, Kullaste, Pungas, Aavik, & Lang. (2017). How to reverse first time donors to become regular donors.
- Instituto Nacional de Salud. (2018). Informe annual red sangre 2017.
- Instituto Nacional de Salud. (2017). Informe annual red sangre 2016.
- Instituto Nacional de Salud. (2016). Informe annual red sangre 2015.
- Instituto Nacional de Salud. (2015). Informe annual red sangre 2014.
- Instituto Nacional de Salud. (2014). Informe annual red sangre 2013.
- Instituto Nacional de Salud. (2013). Informe annual red sangre 2012.
- Instituto Nacional de Salud. (2012). Informe annual red sangre 2011.
- Instituto Nacional de Salud. (2011). Informe annual red sangre 2010.

Instituto Nacional de Salud. (2010). Informe annual red sangre 2009.
Instituto Nacional de Salud. (2009). Informe annual red sangre 2008.
Instituto Nacional de Salud. (2008). Informe annual red sangre 2007.
Instituto Nacional de Salud. (2007). Informe annual red sangre 2006.
Instituto Nacional de Salud. (2006). Informe annual red sangre 2005.
Instituto Nacional de Salud. (2005). Informe annual red sangre 2004.

ANEXOS

Anexo 1. Reporte de Cambios y Ajustes

Previamente a la entrega final, el director de proyecto (tutor temático) realizará una **revisión técnica**, es decir, verificará que todos los ajustes (lector+sustentación) hayan sido efectuados. Para la entrega de dicha revisión técnica se requiere que los estudiantes entreguen una (1) copia electrónica acompañada del reporte de cambios y ajustes como se muestra a continuación.

Título del Proyecto : _____

Integrantes : _____

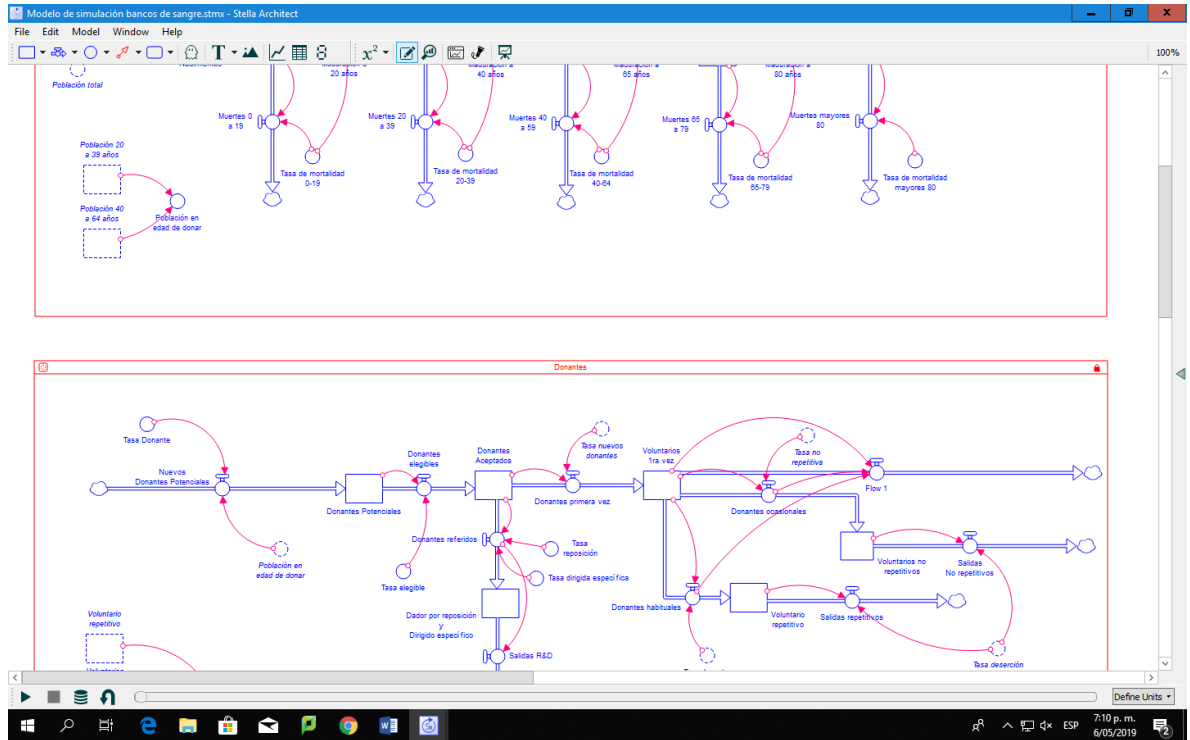
Lector : _____

No.	Comentario	Respuesta/Modificación
1	El título es muy largo.	El título fue ajustado así "xxxxx"
2	¿Cuál es el tamaño de muestra utilizado?	No se estimó un tamaño de muestra dado que el proyecto se realizó a nivel piloto en solo 10 empresas.
3	El gráfico No. 5 no es claro.	Título e identificación de ejes fueron agregados para mayor claridad. La descripción también fue mejorada.
4	Las conclusiones deben mejorarse	Dos nuevas conclusiones fueron agregadas así: 1)....., 2).....

Nota: para la entrega final se debe anexar esta carta escaneada con la firma del tutor temático.

Anexo 2, Manual del usuario.

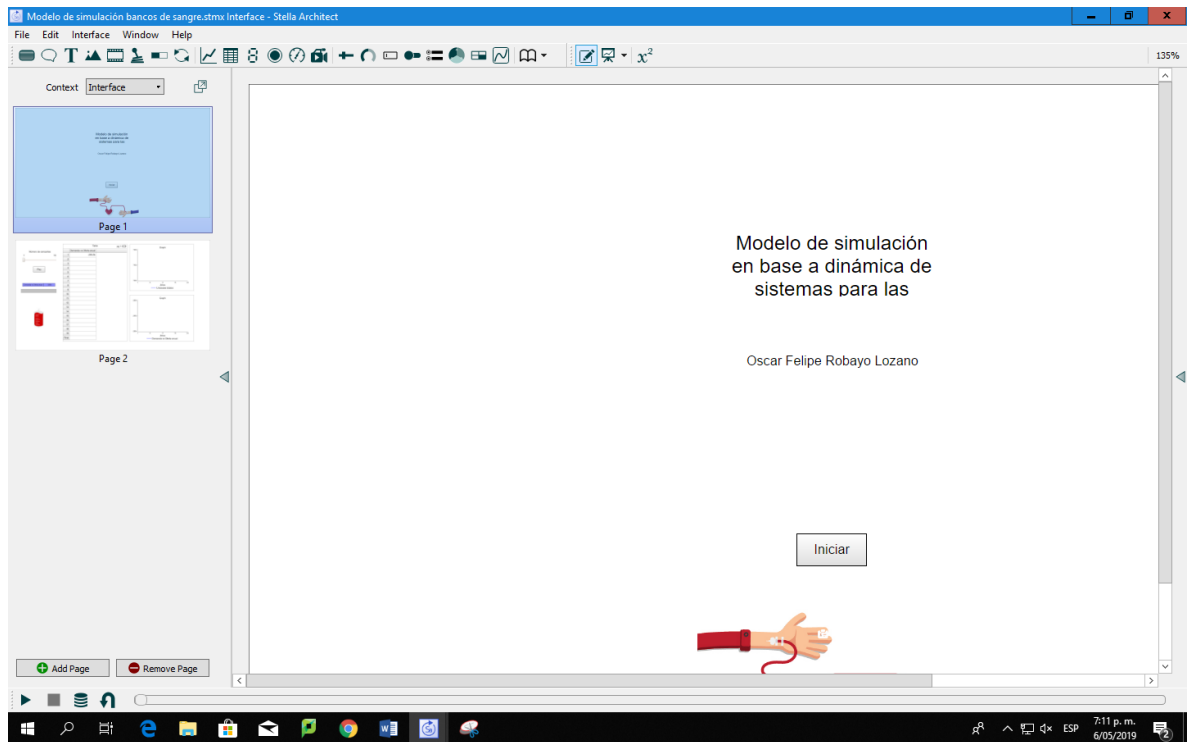
Inicialmente hay que abrir el documento y dirigirse a la barra de herramientas de la parte superior.



Acto seguido dar click en el ícono que tiene forma de presentación señalado a continuación.



Luego se verá en pantalla la siguiente ventana, ahí tendrás que volver a dirigirte a la barra de herramientas ubicada en la parte superior.



Luego darás click nuevamente al ícono en forma de presentación señalado a continuación.

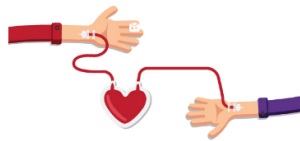


Esto dará inicio al programa, al iniciar la simulación te encontrarás con la pantalla de inicio, la cual luce de esta manera:

Modelo de simulación
en base a dinámica de
sistemas para las

Oscar Felipe Robayo Lozano

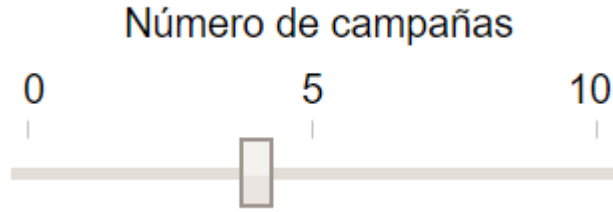
Iniciar



1. El primer paso es darle click al botón “Iniciar”, el cual se ve en pantalla de la siguiente manera:

Iniciar

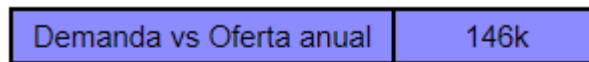
2. Luego te encontrarás en la pantalla principal, en esta pantalla encontrarás una tabla y dos gráficos, correspondientes a la cantidad total de unidades de sangre y a la diferencia entre la oferta y la demanda de unidades de sangre, utilizando estos, podrás visualizar cómo se comporta el sistema de bancos de sangre a medida que transcurre el tiempo.
3. En la pantalla principal también encontrarás dos características con las que podrás interactuar, los cuales son el número de campañas y el botón play.
4. El objetivo de la simulación es que como usuario puedas cambiar el número de campañas de colecta de sangre para cada año transcurrido y a partir de estos cambios generar gráficas que representen el comportamiento del sistema.
5. A partir de este punto empieza la simulación, lo primero que tendrás que hacer es definir el número de campañas a realizar en el año en cuestión deslizando el siguiente scroll:



- Una vez hayas definido el número de campañas procederás a presionar el botón "Play", cada vez que lo presiones transcurrirá un año dentro de la simulación:



- La simulación tiene un total de 20 años, así que al llegar al año 20 deberás dejar de presionar el botón "Play".
- Adicional a las gráficas proporcionadas, también podrás consultar el tiempo transcurrido hasta el momento, y también la diferencia entre la demanda y la oferta en el año en que te encuentres.



Tiempo Transcurrido.



Anexo 3, Artículo académico.

CAMPAÑAS DE DONACIÓN DE SANGRE: MODELO DE SIMULACIÓN EN BASE A DINÁMICA DE SISTEMAS

O. F. Robayo & F. A. Arenas

Este proyecto de investigación fue realizado con el objetivo de construir un modelo de simulación en base a la dinámica de sistemas para el sistema de bancos de sangre, en el cuál se pueda analizar el efecto que tiene en la colecta total de unidades de sangre, el aumentar o disminuir el número de campañas de colecta de sangre en un periodo de tiempo. En este modelo se analiza la dinámica en que los participantes del sistema (personas que donan sangre) pasan de ser donantes potenciales, a ser donantes por primera vez, para luego terminar siendo donantes repetitivos o no repetitivos, o en tal caso salir completamente del sistema. Esto permite entender cómo funciona el sistema y así mismo poder crear controles que permitan retener a los usuarios del sistema y que continúen participando de él como donantes repetitivos. El alcance del proyecto llegó hasta el análisis del efecto de aumentar o disminuir el número de campañas de colecta, sin embargo, el modelo propuesto está abierto para la implementación de nuevas variables de decisión y la generación de informes financieros que permitan analizar una tasa de retorno de la inversión.

Palabras claves: Dinámica de sistemas, Donación, Sangre, Número, Campañas.

I. Introducción

Las transfusiones sanguíneas son un procedimiento quirúrgico de vital importancia en el tratamiento de traumas y lesiones contundentes, actualmente en Colombia se demandan aproximadamente 920.000 unidades de sangre al año, de los cuales solo estamos en capacidad de abastecer 800.000, dejando en promedio 130.000 pacientes expuestos al deterioro de su salud, e inclusive la muerte. Por tal motivo se vuelve de vital importancia crear controles y estrategias que permitan disminuir la

brecha entre la demanda y la oferta de unidades de sangre.

En distintos textos académicos, se especula que el número de campañas de sangre puede tener un efecto en la cantidad de unidades totales recolectadas, y que este puede ser contraproducente si se decide hacer demasiadas campañas, aumentando la cantidad de recursos invertidos y manteniendo la cantidad de donantes en el sistema

II. Estructura del modelo

La figura 1 muestra la estructura del modelo de bancos de sangre.

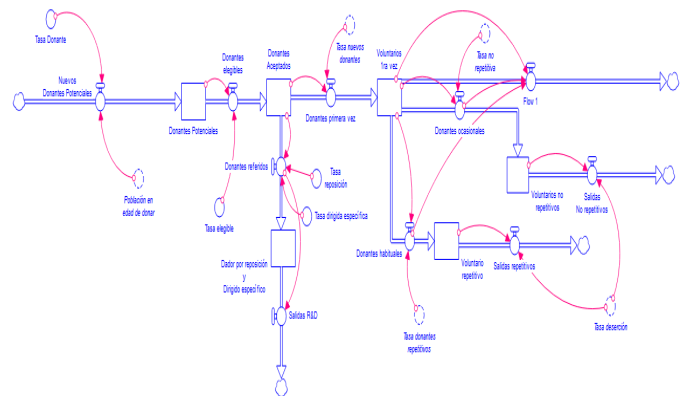


Figura 1. Estructura general del modelo.

En la Figura 1, se puede observar las principales relaciones causales identificadas en el sistema. Por un lado, la variable de mayor incidencia hace referencia a la de Donantes Potenciales, esto es un nivel que es alimentado por los nuevos donantes potenciales y se reduce a razón de los donantes elegibles, los cuales cumplen con los requisitos mínimos para ser aceptados como donantes de sangre. La parte de la población donante que cumple los requisitos luego se subdivide en cuatro

posibles categorías: donantes por primera vez, donantes no repetitivos, donantes repetitivos, y donantes por reposición y dirigidos. Cabe resaltar que para pertenecer a cualquiera de estas categorías el donante tuvo que haber pertenecido primero a la categoría de donante por primera vez, por lo que esta variable alimentará al resto de categorías de acuerdo a las tasas históricas de cada tipo de donante. Finalmente, la suma de estas cuatro categorías generará el número de unidades totales obtenidas en el periodo de donación, para este modelo se trabajará en años con el fin de facilitar el pronóstico a largo plazo.

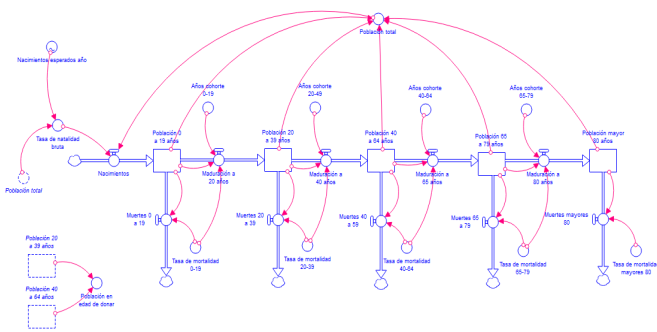


Figura 1. Estructura general del modelo demográfico.

Como el sistema de donación de sangre en Colombia depende directamente de la donación voluntaria de la comunidad, los flujos y unidades que interactuarán en el sistema son las personas que participan de las campañas de sangre, por lo que fue necesario elaborar un modelo demográfico que describiera el crecimiento poblacional del país. Este modelo movilizará a la población al modelo de simulación del sistema de donación de sangre, en donde se discriminarán entre donantes potenciales, aceptados, repetitivos, no repetitivos, donantes por primera vez y donantes por reposición, el modelo de simulación que aporta este movimiento demográfico se encuentra expuesto en la Figura 2.

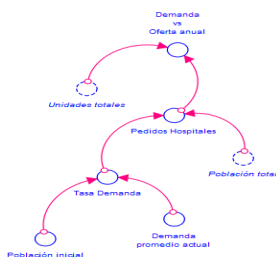


Figura 3. Relación entre demanda y oferta del modelo.

Una vez se validó que el modelo presentaba un comportamiento similar a la realidad se procedió a calcular la diferencia entre las unidades recolectas y la demanda esperada para los siguientes 20 años que es el tiempo que se estipuló para que el modelo funcionara.

Sin embargo, no todas las personas que tienen la intención de ser donante de hemocomponentes logra pasar los filtros de elegibilidad, por lo que una parte de esta población es rechazada, esto se representa en el modelo de simulación como la tasa de elegible, la cual históricamente se ha encontrado alrededor del 82,8% (Red nacional de bancos de sangre y servicios de transfusión, 2017). Ese porcentaje de la población que pasa las pruebas de elegibilidad se le denominará donantes aceptados, de los cuales luego pasarán a ser donantes por primera vez o donantes por reposición, estos últimos se tratan por aparte debido a que como esa población está donando sangre para una persona en específico no hace parte de la dinámica de donantes que busca estudiar esta investigación. Luego, de estos donantes que participan por primera vez, una fracción se convertirá en donantes repetitivos, otra se convertirá en donantes no repetitivos, y la gran mayoría saldrá del sistema. La fracción de donantes por primera vez que pasa a hacer parte del sistema de donantes de sangre está condicionada por tasas de transición para ambos tipos de donantes, repetitivos y no repetitivos, el valor de estas tasas está sujeto al número de campañas y cambia a medida que el usuario le da un valor distinto a la cantidad de campañas.

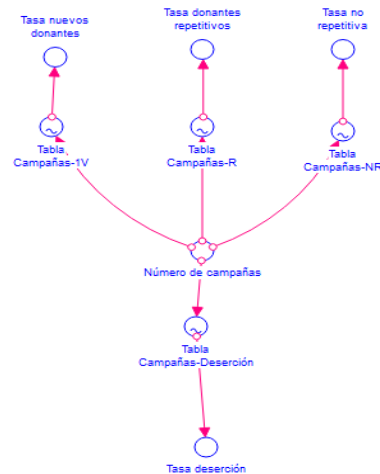


Figura 4. Relación entre número de campañas y dinámica de donantes de sangre.

III. Resultados

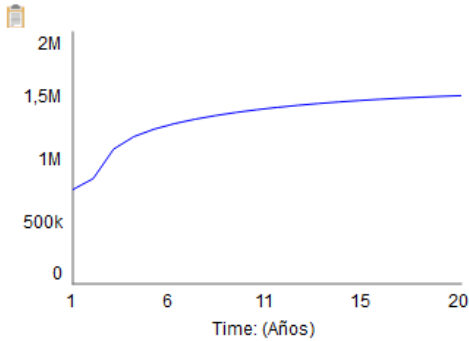


Figura 5. Unidades totales recolectadas por año.

El primer resultado que generó la simulación son las unidades de sangre producidas, como se evidencia en la Figura 5, tras un periodo de crecimiento rápido en los primeros años, las unidades recolectadas tienden a tener un crecimiento moderado en el resto de la simulación. Este comportamiento se puede deber probablemente a que en el modelo demográfico que genera a la población que se habilita para donar, la cantidad de personas aptas para donar disminuye con el tiempo debido al cambio demográfico que está ocurriendo en el país actualmente.

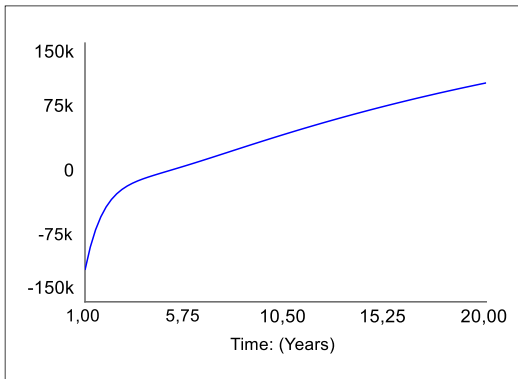


Figura 6. Diferencia entre demanda y oferta de unidades de sangre en los siguientes 20 años en el modelo de simulación. Fuente: Autor.

El siguiente resultado son la diferencia entre las unidades de sangre obtenidas y las unidades de sangres demandadas por el sistema de salud colombiano, como se evidencia en la Figura 6, durante un cuarto de la simulación el sistema de bancos no se encontraba en capacidad de abastecer la demanda de unidades de sangre. Sin embargo, luego del quinto año, el sistema de bancos de sangre logra recolectar suficiente sangre para cumplir con la demanda proyectada para ese año e incluso tener unidades de sobra.

Estos resultados se usaron a modo de validación del sistema, ya que actualmente la diferencia entre la cantidad de unidades de sangre disponibles y la demanda es de aproximadamente 130.000 unidades de sangre que el sistema de bancos de sangre es incapaz de proveer, al analizar el modelo a largo plazo podemos ver que, en la situación actual del sistema, esta diferencia va a tender a disminuir. Al comparar este crecimiento con el actual podemos observar que no está muy alejado de la realidad, ya que se ha venido registrando una tendencia positiva en la satisfacción de la demanda de hemocomponentes en los últimos años, por lo que se puede esperar que en los siguientes años se satisfaga completamente.

Tabla 1. Satisfacción a la demanda de hemocomponentes, Colombia.

Fuente: Coordinación Red Nacional Bancos de Sangre y Servicios de Transfusión, INS

Hemocomponente	Porcentaje de satisfacción a la demanda		
	2015	2016	2017
Glóbulos Rojos	84,5	88,8	91,9
Plaquetas	89,1	90,2	93,5

Una vez se validó el modelo de simulación se pudo generar el resultado objetivo de esta investigación, una herramienta en la que el usuario pueda experimentar cambiando el número de campañas a realizar cada año y obtener en tiempo real un resultado que describa el comportamiento entre la oferta y la demanda de unidades de sangre. Esto es posible gracias a la dinámica implementada. Sin embargo, su interfaz complicada lo vuelve inadecuado para que lo opere una persona que desconozca cómo funciona el modelo, por lo cual surge la necesidad de proporcionarle una interfaz amigable que omita los detalles operativos y solo exponga las variables con las que puede interactuar el usuario y le permita ver los resultados más relevantes, presentados en gráficas y tablas. La interfaz se encuentra expuesta en la Figura 7.

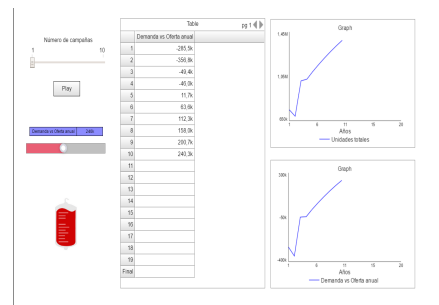


Figura 7. Interfaz operativa de usuario.

IV. Conclusiones

El modelo en cuestión es capaz de reflejar en cierta medida la realidad en el contexto colombiano del comportamiento del sistema de bancos de sangre, sin embargo, como se pudo evidenciar en la etapa de resultados, existe un margen de error que debe ser corregido para lograr resultados más contundentes, esto debido a que el objetivo de una simulación es representar un modelo de la vida real, y a partir de este poder tomar decisiones que a futuro afecten una o más variables del sistema.

En distintos trabajos investigativos es mencionado que el número de campañas de sangre que se realicen en un año tiene una relación con la cantidad de unidades de sangre recolectadas, y no siempre de manera lineal, es decir, sugieren que después de cierto punto se vuelve contraproducente seguir realizando campañas de colecta debido a que podría desensibilizar a la población frente a la problemática de la escasez de sangre. Sin embargo, no existen estudios nacionales que documenten con cifras este tipo de comportamiento, por lo que se vuelve necesario recurrir a datos de otros países o esperar a que se publique la información pertinente para que el modelo se encuentre en capacidad de generar datos relevantes para tomar decisiones con respecto al número de campañas de sangre.

Como punto final, esta herramienta permite predecir el comportamiento del sistema de bancos de sangre frente a una única variable de decisión, por lo que antes de que esta pueda ser usada para tomar decisiones dentro del sistema real, es necesario ampliar el alcance de la herramienta e

incluir otras variables de decisión como temáticas y enfoques de campañas de concientización, ubicación de los puestos móviles, manejo de la cadena de frío, incentivos, tasa de retorno sobre la inversión, entre otras que no fueron incluidas en el presente estudio debido a que por su complejidad, no hubiera sido posible incluirlas en el plazo de tiempo establecido.

V. Recomendaciones

Este modelo de simulación tiene el potencial de ser una herramienta muy útil para determinar el impacto que ciertas medidas dentro del sistema de bancos de sangre tendrán al largo plazo, sin embargo, debido a que el alcance del proyecto se veía limitado por el plazo de tiempo de entrega establecido, no pudieron ser incluidas suficientes variables de decisión para que el modelo de simulación estuviera en condiciones de generar datos pertinentes como la tasa de retorno de inversión para así medir también la efectividad de las campañas y su relación con las cantidades invertidas en ellas. Se recomienda al continuar con este proceso investigativo consultar fuentes que permitan relacionar nuevas variables de decisión que incluyan aspectos que motiven o desmotiven a la población de participar en campañas de donación de sangre, entre otras variables relevantes.