

# **Pronósticos de componentes sanguíneos en un hemocentro de la ciudad de Santiago de Cali**

---

**Bryan Fernando Salcedo Moncada**

**Marilin Ramírez Fernández**

**Jairo Arboleda Zúñiga**

Universidad Pontificia Bolivariana,  
Palmira, Colombia

## Resumen

---

En el presente proyecto se desarrolla la primera fase de un modelo de cadena de suministro desde un hemocentro regional hasta los diversos centros hospitalarios, de forma que les permita disponer de mecanismos para la planeación y el control del inventario en los bancos de sangre de dichas instituciones de región del Valle del Cauca. Dentro de esta primera fase se tendrá en cuenta la caracterización del comportamiento de la demanda de los glóbulos rojos, la cual será estimada a través de entidades prestadoras del servicio de salud en el Valle del Cauca, a través de pruebas de bondad de ajuste se identificará que tipo de distribución presenta la demanda anterior, para así elaborar los pronósticos más adecuados para cada tipo de grupo sanguíneo; concluyendo que el centro hospitalario debería solicitar cada dos semanas, para el tipo de sangre A-, cinco unidades; A+, 78 unidades; AB-, 1 unidad; AB+, 3 unidades; para B-, 2 unidades; B+, 14 unidades; O-, 8 unidades y, finalmente, para O+, 64 unidades de sangre.

Posteriormente, en una segunda fase, como consecuencia de este estudio, se realizará el planteamiento de lineamientos generales que permitan el establecimiento y aplicabilidad del modelo en otros hemocentros y bancos de sangre para una futura integración a través de una gran red regional de abastecimiento de sangre.

## Palabras clave

Aleatoriedad, pronósticos, cadena de suministro, control de inventarios.  
Forecasts for blood components in a hemocenter of the city of Santiago de Cali

## Abstract

---

In the present project is develops the first phase of a model of chain of supply from a hemocenter regional to them different centers hospital so them allow have of mechanisms for the planning and the control of the inventory in them banks of blood of such institutions of region of the Valley of the Cauca. Within this phase will take into account the characterization of the behavior of the demand for red blood

cells, which shall be estimated through entities providers of the health service in the Valle del Cauca, through tests of goodness of fit will identify that type of distribution presents previous demand, for thus the forecasts most suitable for each type of blood group; Concluding that the hospital should be requested every two weeks for blood type A-, 5 units, A+, 78 units, AB-, 1 unit, AB+, 3 units, for B-, 2 units, B+, 14 units, O-, 8 units and finally to O+, 64 units of blood. Then in a second phase as a result of this study, there will be the approach of general guidelines that will allow the establishment and applicability of the model in other hemocenter and blood banks for a future integration through a regional network of blood supply.

## Key words

Randomness, forecasts, chain of supply, Control of inventories.

## Introducción

Colombia, en la actualidad, es uno de los países en el continente americano que tiene un porcentaje de donantes de sangre superior al promedio, con 61% de donantes voluntarios, según la Organización Panamericana de Salud (OPS). Además, en concordancia con los datos suministrados por la política nacional de sangre del Ministerio de Salud, el promedio nacional de disponibilidad de sangre es de 12,0 unidades por cada 1.000 habitantes y es superior únicamente en las seccionales de Bogotá (23,7), Antioquia (15,4), Tolima (23,2) Atlántico (13,4). (Palacio Betancourt & Giraldo Suárez, 2006).

Por el contrario, existe un panorama crítico en los bancos de sangre de la región. La Cruz Roja, La Fundación Valle del Lili y demás hemocentros del Valle del Cauca se encuentran en un alto desabastecimiento de unidades de sangre. En el hemocentro de la Cruz Roja se capta aproximadamente el 35 % de unidades de sangre diarias que se deberían recoger, incidiendo además la falta, especialmente, de dos tipos de grupos sanguíneos, el O- y A+. Por consiguiente, las reservas de los hemocentros se están destinando para la atención de emergencias, retrasando la programación de cirugías en varias clínicas de la ciudad ( Elpaís.com.co, 2015).

La escasez de las unidades de sangre proviene, en buena parte, de la participación ciudadana en la donación, del desconocimiento de los patrones de la demanda,

sumado a que se trata de un producto perecedero, es decir, de vida limitada, ya que los tiempos de conservación de hemoderivados estipulados según la red nacional de sangre para glóbulos rojos es de 35 días máximo; (José Ricardo Navarro V, MD, 2011). Todos estos factores conllevan a los centros hospitalarios de la región a una complicada labor de la planeación, manejo y control del inventario de unidades de sangre.

Se sabe que el banco de sangre de un centro hospitalario opera como una localidad de inventarios (Arboleda J., 2008), en donde se almacenan y se transfirieren las unidades indicadas de sangre para los requerimientos de transfusión. Este inventario depende, entre otros factores, del número de donantes que concurren, de la vida útil de los componentes sanguíneos y del comportamiento de la demanda. Por tal razón, el desarrollo previo de modelos para productos perecederos puede servir como referente, pero no puede ser usado para obtener respuestas exactas, debido al alto grado de variabilidad de los factores mencionados.

De esta forma, este proyecto tiene como objetivo conocer el comportamiento de la demanda de los componentes sanguíneos de un banco de sangre de un centro hospitalario de la ciudad de Cali, con el fin de elaborar los pronósticos más adecuados para cada tipo de grupo sanguíneo, permitiendo servir de soporte para el control y gestión de este tipo de inventario.

Para este artículo específico, en la sección 2 se muestra el referente teórico de la investigación, en la sección siguiente se explica la metodología desarrollada en el proyecto, seguido de esto, se muestran los resultados y, finalmente, se presentan las conclusiones, bibliografía utilizada e información de los autores.

## **Referente teórico**

---

Para entender el tipo de producto que se va a trabajar en este proyecto, se toma la investigación de (Rivera, Rodríguez, & Febres, 2007), en la que plantean como se clasifican los ocho tipos de sangre. El sistema ABO, el primer grupo sanguíneo descubierto por Landsteiner en 1900 clasifica los glóbulos rojos en A, B y O, de acuerdo a la presencia o ausencia de antígenos reactivos en la superficie de los glóbulos rojos.

- A, que contiene el antígeno A.
- B, incluye el antígeno B.
- AB, contiene ambos antígenos.
- 0 (cero), no tiene antígenos.

En 1940, se descubrió otro grupo de antígenos que se denominaron factores Rhesus o Rh. Las personas con factores Rhesus en su sangre se clasifican como Rh positivas; mientras que aquellas sin los factores se clasifican en RH negativas.

Teniendo en cuenta estos dos tipos de clasificación, el centro de salud debe asegurarse de brindarles a los pacientes el tipo de sangre compatible. Para ello es necesario tener un estimado de cómo la población colombiana presenta su grupo sanguíneo.

Según la política nacional de sangre del Ministerio de Protección Social se estima que en Colombia el 60% de la población nacional pertenece al grupo sanguíneo O (O+ 56% y O- 4%), 25% al grupo A (A+ 23,5% y A- 1,5%), 10% al grupo B (B+ 9% y B- 1%) y 5% al grupo AB (AB+ 4,5% y AB- 0,5%) (Palacio Betancourt & Giraldo Suárez, 2006).

De este modo los bancos regionales de sangre intentan mantener inventarios de los diferentes tipos de sangre para satisfacer la demanda variable diaria sin incurrir en una excesiva caducidad.

Para conocer los factores que afectan a las cantidades que tienen que mantenerse en inventario se estudia el capítulo “Cruz roja Americana: Blood services” de (Ballou, 2008):

- **Demanda.** El número de unidades de sangre (1 unidad = 1 pinta) de cualquier tipo que requieren los bancos de sangre de diferentes hospitales.
- **Escasez.** Ocurre cuando la demanda excede del número de unidades de sangre en inventario.
- **Tasa de escasez.** La fracción a largo plazo (o porcentaje) de días en los cuales hay escasez, es decir, que la tasa de escasez = al número de días en los que ocurre insuficiencia dividido (/) el número total de días.

- **Caducidad.** Una unidad de sangre que es descartada porque excedió su vida de anaquel (por ejemplo, 35 días para sangre entera).
- **Tasa de caducidad.** La relación entre el número promedio de unidades caducadas de sangre y el número promedio de unidades recolectadas de sangre, es decir, la tasa de caducidad = al número promedio de unidades caducadas dividido (/) el número promedio de unidades recolectadas.

Debido a que la sangre es de naturaleza perecedera, los administradores de los bancos de sangre se encuentran con que la administración de los inventarios de sangre es un problema de gran presión. En el centro hospitalario de la ciudad de Palmira no escapan de ello, en ocasiones se tienen excesos de las unidades de sangre que no son solicitadas y se ven agotadas aquellas de las que los pacientes necesitan. Por ello es de vital importancia tener un conocimiento de los patrones de demanda de cada uno de los ocho tipos de sangre.

Para entender los patrones de demanda se acude al libro, “Fundamentos de gestión de inventarios” de Carlos Julio Vidal (2010). Una vez conocido el comportamiento de la demanda, se pueden identificar dos tipos de modelos de inventarios para bancos de sangre. Por un lado, están los modelos matemáticos o determinísticos (demanda regular) y por otro lado, los modelos aleatorios o probabilísticos (demanda irregular) (Taha, 2004). La aplicación del modelo adecuado dependerá del comportamiento de la demanda de cada tipo de sangre.

Algunos científicos desarrollaron fórmulas matemáticas y modelos computarizados, tomando como base el coeficiente de variación de la demanda (CVD) para calcular el número óptimo de unidades de sangre que conforman el inventario para un centro hospitalario, en este caso el hospital Clinic de Barcelona, España. Este modelo permitió controlar el vencimiento de sangre y prevenir la escasez en situaciones de demanda urgente, (Pereira, 2005).

En el Instituto Superior de Medicina Militar "Dr. Luis Díaz Soto" de la Ciudad de La Habana, con el objetivo de calcular el inventario mínimo de glóbulos y plasmas, y así cubrir las necesidades diarias de todas las áreas clínicas y quirúrgicas, se ensayó un modelo de estimado. El modelo propuesto resultó útil para evitar vencimientos y aumentar la eficiencia, porque hace disminuir los envíos regulares y de emergencia desde los centros abastecedores. El inventario mínimo de glóbulos calculado para un día sería: 11 unidades de A<sup>+</sup>, 5 de B<sup>+</sup>, 2 de AB<sup>+</sup> y 13 de O<sup>+</sup>; 3 unidades de A<sup>-</sup>, 2 de B<sup>-</sup> y 3 de O<sup>-</sup> (Fano, 1998).

En cuanto a los modelos aleatorios o probabilísticos se toma en cuenta la investigación realizada en un banco de sangre de Alemania, donde la Programación Dinámica de Markov (MDP), combinada con simulación, demostró que disminuyendo la dimensión y aplicando el análisis combinado, se pueden definir reglas de reposición para mejorar el servicio; estas lograron mostrar resultados cercanos al óptimo y, a través de un análisis de sensibilidad, se pudieron controlar los agotados y los costos de producción para la administración del inventario de plaquetas. (Katsaliaki, 2007).

## Metodología

Esta investigación es de carácter experimental, corresponde a un estudio exploratorio, donde a partir del comportamiento histórico de la demanda de los tipos de sangre, dentro de un hemocentro, puede llegar a elaborarse el pronóstico más adecuado para cada grupo sanguíneo; reforzando la toma de decisiones referentes a la administración del sistema; garantizando un nivel adecuado de servicio en el banco de sangre.

En el presente estudio se desarrollaron las siguientes actividades:

- Realizar visitas al hemocentro del centro hospitalario de referencia para toma de datos de la demanda diaria de los componentes sanguíneos y observación del sistema de captación, conservación y almacenamiento de la sangre.
- Analizar mediante herramientas gráficas y estadísticas el Coeficiente de Variación de la Demanda – CVD, el tipo de comportamiento y patrón de la demanda para los diferentes tipos de sangre.
- Establecer el tipo distribución de probabilidad que mejor se ajusta a la demanda de cada tipo de sangre, mediante Stat-Fit (aplicativo para pruebas de bondad de ajuste del software Promodel) y el software MiniTab.
- Generar el modelo de pronóstico más adecuado a partir de la caracterización de los patrones de demanda de cada componente sanguíneo para los próximos 15 días.
- Realizar pruebas de simulación discreta para la demanda de los componentes sanguíneos en un horizonte de tiempo de 15 días.

Cabe resaltar que el análisis de la demanda de componentes sanguíneos, se realizó de forma diaria, tomando 294 muestras desde enero hasta octubre del 2016 para todos los grupos, excepto B- y AB-, que se utilizó un muestro de 384 días, debido a su poca variabilidad en el tiempo.

## Resultados

El análisis desarrollado indica que los ocho grupos sanguíneos presentan alta variabilidad, la demanda de todos los grupos sanguíneos analizados de forma diaria presentan un comportamiento errático. De esta manera hay tipos de sangre como el AB- y el B- en donde es casi nula, ocasionando que al momento de realizar un pronóstico sea más complejo puesto que la frecuencia de solicitar una unidad de sangre es baja. A continuación se muestra el comportamiento de este componente sanguíneo de los grupos A+, B- y O+.



Fig. 1 Comportamiento de la demanda de glóbulos rojos de tipo de sangre A+.



Fig. 2 Comportamiento de la demanda de glóbulos rojos de tipo de sangre B-.



Fig. 3 Comportamiento de la demanda de glóbulos rojos de tipo de sangre O+.

Al realizar el estudio de manera mensual, el panorama es diferente, los grupos sanguíneos A+, A- y O- presentan un comportamiento estacional con picos mayoritariamente en los meses de febrero y junio. Los grupos sanguíneos B-, AB- y AB+ mantienen su comportamiento errático, y los grupos B+ y O+ se comportan de manera uniforme. Este análisis es necesario, sin olvidar el carácter perecedero de este tipo de producto.

A partir de la clasificación del comportamiento de la demanda de los anteriores grupos sanguíneos es necesario corroborar el tipo de distribución que siguen los datos, se parte de la premisa de que siguen una distribución Markoviana, específicamente de Poisson, debido a las características del fenómeno que describen un modelo de colas, donde la variable aleatoria toma valores discretos. Para ello se realizan las pruebas de bondad de ajuste para cada uno de los grupos sanguíneos, esta prueba es realizada con la ayuda del software estadístico Minitab, el cual la calcula con un estadístico de prueba Chi Cuadrado. Con este tipo de pruebas se logra conocer la distribución de probabilidad de los datos, para posteriormente realizar la simulación más indicada.

Se plantean dos hipótesis para conocer si cada uno de los grupos sigue una distribución de probabilidad poissoniana: en la que la hipótesis nula ( $H_0$ ) asegura que los datos siguen una distribución de Poisson y la hipótesis alterna ( $H_a$ ) asegura que los datos no siguen una distribución de Poisson. Una vez desarrollada la prueba se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), aceptando la alterna, ya que ninguno de los grupos sanguíneos sigue una distribución de Poisson. Ver figura 4.

<b>Columna Datos: AB+</b>				
<b>Media de Poisson para AB+ = 0,380952</b>				
Probabilidad		Contribución		
AB+	Observado	de Poisson	Esperado	a Chi-cuad.
0	270	0,683210	200,864	23,7962
1	6	0,260271	76,520	64,9900
2	7	0,049575	14,575	3,9370
>=3	11	0,006944	2,041	39,3141
N	N*	GL	Chi-cuad.	Valor P
294	0	2	132,037	0,000

Fig. 4: Prueba de bondad de ajuste para el grupo AB+.

En la figura anterior se toma como ejemplo el resultado de la prueba para el grupo AB+, al comparar el valor p con su nivel de significancia  $\alpha$  igual a 0,05, se puede determinar si los datos siguen una distribución de Poisson. Si el valor p es menor que  $\alpha$ , se rechaza la hipótesis nula. Para este grupo como todos los demás, siendo  $P < \alpha$ . Se rechaza la hipótesis nula. Es decir, el comportamiento de la demanda para el grupo sanguíneo AB+ no sigue una distribución de probabilidad de Poisson.

Para validar esta prueba se hace uso del módulo Stat-fit del software de simulación Promodel, el cual permite corroborar si los datos siguen algún otro tipo de distribución, incluyendo la poissoniana. No obstante, los resultados arrojan que no sigue ningún tipo de distribución conocida.

Finalmente, evidenciado que los datos no siguen una distribución conocida, se recurre a una simulación discreta (en Excel), ingresando los datos de demanda como una distribución empírica, los cuales toman como base la generación de números aleatorios para periodos de demanda de máximo 15 días (debido al carácter perecedero del producto). A partir de una suma de promedios, de estas estimaciones, se puede llegar a las unidades a ordenar para cada uno de los grupos sanguíneos.

De acuerdo con los resultados de la simulación discreta obtenida en el centro hospitalario de referencia, la demanda proyectada para un periodo de 15 días es la siguiente: tipo de sangre A-, 5 unidades; A+, 78 unidades; AB-, 1 unidad; AB+, 3 unidades; para B-, 2 unidades; B+, 14 unidades; O-, 8 unidades y, finalmente, para O+, 64 unidades de sangre. Ver tabla 1.

Tabla 1. Cantidad de unidades sanguíneas a solicitar.

Grupo sanguíneo	Unidades a ordenar
A-	5
A+	78
B-	2
B+	14
AB-	1
AB+	3
O-	8
O+	64

## Conclusiones

El estudio desarrollado indica que las unidades de glóbulos rojos demandados por el hospital presentan un comportamiento errático, corroborado con los altos grados de coeficiente de variación de la demanda, desde un CVD de 0,94 para el grupo sanguíneo O+ hasta un CVD de 19,6 para el grupo AB-, corroborando así la complejidad para su administración, sumado a las demás variables mencionadas en el estudio.

Al realizar la prueba de bondad de ajuste para conocer si la demanda de sangre del centro hospitalario sigue el comportamiento de una distribución de Poisson, ninguno de los ocho grupos sanguíneos presenta este tipo de distribución, demostrando el alto grado de variabilidad, llevando a utilizar una distribución empírica para poder pronosticar demandas futuras.

Se concluye que la mejor forma de abastecer el hemocentro del centro hospitalario es cada dos semanas, para garantizar el aprovechamiento y no caducidad de las unidades sanguíneas, ordenando para el tipo de sangre A-, 5 unidades; A+, 78 unidades; AB-, 1 unidad; AB+, 3 unidades; para B-, 2 unidades; B+, 14 unidades; O-, 8 unidades y, finalmente, para O+, 64 unidades de sangre.

Los resultados obtenidos en este proyecto pueden servir como referente para hemocentros de centros hospitalarios de nivel III y IV de nuestro país, pero se debe

aclarar que no puede ser usado para obtener respuestas exactas, debido al alto grado de variabilidad de los factores como la demanda, los índices bajos de donación en la región y la aleatoriedad de los tipos de sangre, sumado al carácter perecedero del producto en estudio.

## Referencias

---

1. Arboleda, J. (2008). Modelo de inventarios para la administración de la cadena de suministro en el banco de sangre de una clínica de la ciudad de Santiago de Cali.
2. Ballou, R. H. (2008). *Administración de la cadena de suministro. The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference* (Vol. 1).
3. Fallis, A. (2013). Comportamiento del manejo de la provisión de unidades de globulos rojos en un hospital público de Bogotá DC. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
4. Fano, L. (1998). Inventario mínimo de componentes sanguíneos en un servicio de hemoterapia de Ciudad de La Habana. *Revista Cubana de Medicina Militar*.
5. José Ricardo Navarro V, MD, A. F. C. R. (2011). ¿Cómo funciona el Banco de Sangre a nivel estatal?, 30–37.
6. Katsaliaki, K. B. (2007). Applications of simulation within the healthcare. *Journal of the Operational Research Society*, 219.
7. Palacio Betancourt, D., & Giraldo Suárez, M. (2006). Política nacional de sangre. *Ministerio de Protección Social*.
8. Pereira, A. (2005). *Haemotherapy and Hoemostosis Service and Blood Bank*. Barcelona: Blackwell.
9. Rivera, W., Rodríguez, V. M., & Febres, M. Y. (2007). Revisión de Literatura. *Writing*, 1–2.
10. Taha, H. A. (2004). *Investigación de operaciones* (7a ed.). México.
11. Vidal Holguin, J. C. (2010). Fundamentos de gestión de inventarios, 1–241.
12. Van Dijk, N. H. (2007). Blood platelet production: a novel approach for practical optimization. *Computers & Operations Research*, 760.