Universidad de La Laguna

SECCIÓN DE MATEMÁTICAS | FACULTAD DE CIENCIAS

Bruno Mesa Martín

Revisión Literaria: Gestión de la cadena de suministro de plaquetas

A Literature Review: Supply chain management of platelets

Trabajo Fin de Grado
Grado en Matemáticas
La Laguna, Septiembre de 2017

Dirigido por

Juan José Salazar González

Juan José Salazar González
Departamento de Matemáticas, Estadística e Investigación Operativa
Universidad de La Laguna
38271 La Laguna, Tenerife

Agradecimientos

A mi familia, amigos y compañeros por todo el apoyo que me han dado.

A Dani por los ánimos para la conclusión de este trabajo.

Y una especial mención a mi tutor D. Juan José Salazar González, por el apoyo y comprensión durante la realización de este trabajo.

Resumen · Abstract

Resumen

Este trabajo presenta una revisión de la literatura sobre inventario y gestión de la cadena de suministro de plaquetas.

En primer lugar, se introducen los conceptos asociados a la sangre y sus derivados, pues las donaciones de ésta conforman el primer paso de la cadena de suministro. Después se realiza un estudio de los artículos existentes relacionados con la gestión de las plaquetas, clasificándolas por su método de resolución. Cada método se ejemplifica a través de la cita de referencias clave o exponiendo las características de dicha perspectiva.

La principal contribución de esta revisión literaria es facilitar el rastreo de trabajos publicados en campos relevantes de interés, así como identificar las tendencias en el procedimiento de resolución a lo largo de los años.

Palabras clave: *Revisión literaria, Productos Sanguíneos, Plaquetas, Gestión cadena de suministro, Gestión de inventario, Investigación Operativa.*

Abstract

This paper presents a review of the literature on inventory and management of the platelet supply chain.

First, the concepts associated with blood and its derivatives are introduced, since donations from blood are the first step in the supply chain. Afterwards a study of the articles that are related to the management of the platelets is carried out, clarifying them by its method of resolution. Each method is exemplified through the quotation of key references or exposing the characteristics of that perspective.

The main contribution of this literary review is to facilitate the tracing of published works in relevant fields of interest, as well as to identify trends in the resolution procedure over the years.

Keywords: *Literary review, Blood Products, Platelets, Supply chain management, Inventory management, Operative investigation.*

Contenido

Agradecimientos III

Resumen/Abstract V

Introducción IX

1. Motivación y objetivos 1

2. La sangre 3
- 2.1. Donación y Tipos Sanguíneos 3
- 2.2. Componentes sanguíneos 4
- 2.3. Planificación 6

3. Métodos de resolución 9
- 3.1. Evaluación / Buenas prácticas 10
- 3.2. Simulación 12
- 3.3. Programación dinámica estocástica (SDP) 13
- 3.4. Programación Entera 14
- 3.5. Programación Lineal 16
- 3.6. Modelos de colas 16
- 3.7. Análisis estadístico 17
- 3.8. Análisis de costos 18
- 3.9. (Meta)Heurísticos 18
- 3.10. Teoría de las restricciones (TOC) 19
- 3.11. Sistema de soporte a las decisiones (DSS) 20
- 3.12. What-If Scenario Analysis 20
- 3.13. Hoja de Cálculo 21
- 3.14. Análisis de la tendencia de los métodos de resolución 22

4. Conclusiones 25

Bibliografï¿½a 27

Poster 31

Introducción

La gestión de la sangre se trata de un problema crucial hoy en día, ya que incluso existiendo progreso en el terreno de sustitución de los productos sanguíneos, la necesidad de la donación de sangre y sus derivados sigue siendo fundamental.

La sangre no es un recurso que se pueda obtener con facilidad, el suministro de la misma es bastante irregular y la demanda de los productos sanguíneos es aleatoria. Conseguir emparejar la demanda con el suministro de una manera eficiente no es una tarea fácil, ya que los productos sanguíneos son perecederos, haciendo que este emparejamiento sea aún más complicado de cumplirse. Su escasez implica consecuencias sociales graves, como la complicación de intervenciones quirúrgicas. Hay que tener en cuenta además, que solo un pequeño porcentaje (5 %) de la población elegible dona [3, 4]. Por lo que se hace fundamental una buena gestión de estos productos sanguíneos, y hablamos de productos sanguíneos en vez de sangre como un producto en sí mismo, porque de hecho, sólo en un muy bajo porcentaje de transfusiones efectuadas en los hospitales se hace uso de ella como un todo. En su gran mayoría se usan los componentes en los que se puede subdividir, como los glóbulos rojos, el plasma o las plaquetas. Los diferentes componentes tienen diferentes tiempos de caducidad y la separación permite adaptar el uso de productos sanguíneos a las necesidades específicas de un paciente, por ejemplo, el plasma sanguíneo se utiliza para tratar quemaduras [5].Los productos se distinguen además por medio de diferentes grupos sanguíneos y el factor Rhesus (Rh) .

Este trabajo se centra en la revisión de la literatura relacionada con la gestión del inventario y de la cadena de suministro de las plaquetas. Realizando una clasificación según el método de resolución usado, exponiendo las características de la perspectiva. La principal contribución de este trabajo es facilitar el rastreo

de trabajos publicados en este campo, así como identificar las tendencias a lo largo de los últimos años.

Durante la investigación para la realización de este trabajo, se encontraron dos revisiones de la literatura relacionada con nuestro campo de estudio. La primera revisión de la literatura está escrita por Nahmias [1] y trata de los problemas de inventario perecederos en su conjunto, en lugar de centrarse en los productos sanguíneos. La revisión no es reciente pues data de 1982 y se trata solamente de problemas de inventario en lugar de considerar toda la cadena de suministro. Incluye una breve revisión de la aplicación de los modelos analizados a la gestión de bancos de sangre. La segunda revisión se trata de ***"Supply chain management of blood products: a literature review"*** de Jeroen Beliën y Hein Forcé [2]. Se trata de una revisión bastante reciente, pues se publicó a inicios de 2012. En ella los autores realizan un estudio muy completo de la bibliografía existente relacionada con los problemas de la cadena de suministro de sangre, clasificándola de acuerdo a diferentes criterios, como los métodos de resolución, el tipo de problema (si se trata de un inbound o un outbound), el nivel jerárquico (nivel hospitalario individual, nivel regional de sangre y nivel cadena de suministro), etc. Cabe destacar también la aportación de Pierskalla, con el libro Investigación de Operaciones y Atención de Salud: Manual sobre Métodos y Aplicaciones [6]. Un documento muy interesante en el área de la gestión de la cadena de suministro de sangre, describiendo modelos estratégicos para asignar áreas de donación y centros de transfusión a centros de sangre comunitarios, determinar el número de centros de sangre comunitarios en una región, localizar estos centros y coordinar la oferta y la demanda, la gestión de inventarios, la asignación de sangre a los hospitales, la entrega de sangre y crossmatching.

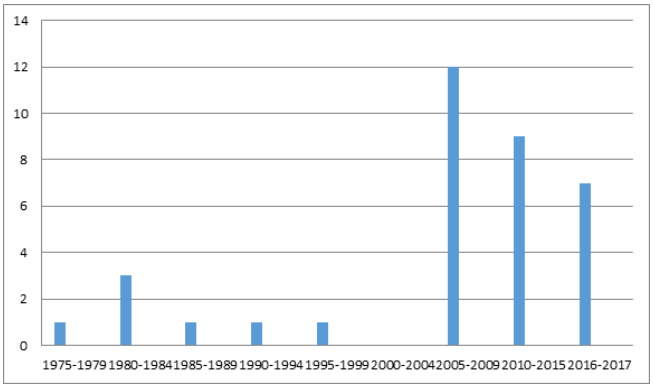

Figura 0.1. Número de publicaciones por periodo

Se realiza una revisión de un total de búsquedas en las bases de datos ScienceDirect, PubMed, Deepdyve y Academic Search Premier para los documentos relevantes sobre el inventario y la gestión de la cadena de suministro de las plaquetas. Las referencias citadas en los artículos obtenidos fueron revisadas para encontrar publicaciones adicionales. Este trabajo realiza la revisión de un total de 36 manuscritos. Para ilustrar la distribución de los documentos de acuerdo con la fecha de publicación, se incluye un diagrama de distribución. Se puede apreciar cómo se ha producido un incremento del número de publicaciones en los últimos años, sobre todo a partir del 2005, destacando el año 2009 con 8 artículos, y lo que va de este año, con 6 documentos.

1

Motivación y objetivos

Con el avance y el progreso de las nuevas tecnologías, vivimos en un mundo en el que podemos encontrar información de cualquier campo con una pequeña búsqueda en el móvil. Por el contrario, si pretendemos profundizar en el tema, nos llega un exceso de información que tenemos que procesar y separar la información útil y relevante de la que no lo es tanto o no nos interesa.

A lo largo de la carrera, la revisión de la bibliografía ha sido fundamental para ahondar más en un tema estudiado, o para ver otra perspectiva que nos permitiese una mejor comprensión. Esto ha motivado mi elección sobre esta línea de trabajo, ya que se debió al anhelo por realizar un estudio que ayudase a futuros investigadores permitiéndoles una rápida y completa búsqueda de información cuando fuera necesario.

También esta memoria ha sido elegida con el fin de realizar una aplicación tangible en el mundo real, ya que en la carrera se nos documenta de teoremas, proposiciones, lemas, etc., pero pocas veces podemos darle un uso que no sea abstracto.

Ahora pasamos a enumerar los objetivos de este trabajo:

- Realizar una revisión literaria de los artículos científicos existentes eligiendo los que se adecuan al tema de interés estudiado. Para ello se revisarán los portales científicos más importantes, así como las bibliografías de los artículos en busca de trabajos relacionados con la gestión de inventario y de la cadena de suministro de las plaquetas.

- Categorizar los artículos atendiendo al método de resolución empleado. Concretando lo máximo posible en esta categorización. Esto permitirá una mayor rapidez en las búsquedas futuras por parte de investigadores que quieran apoyarse en alguno de los artículos aquí expuestos.

- Describir brevemente cada una de las categorías, mediante la explicación de sus principales características o a través de la ejemplificación, para una mayor comprensión de cada una de ellas, aunque sin entrar en detalles computacionales
- Realizar un análisis de las tendencias de los métodos de resolución. Este análisis permitirá ver de una manera rápida y clara la evolución en la publicación de artículos atendiendo al método de resolución. Esto nos dará una visión de las métodos que están en auge y cuales en desuso.

2

La sangre

2.1. Donación y Tipos Sanguíneos

La donación de la sangre se suele realizar en espacios destinados para ello en los hospitales, en donde se realiza tanto la donación "tradicional"de sangre completa como la donación por aféresis (plaquetoféresis, plasmaféresis y eritroaféresis); así como en unidades móviles acondicionadas para la recolección de sangre completa.

Concretamente en Canarias se encarga el Instituto Canario de Hemodonación y Hemoterapia (ICHH), que dispone tanto de localizaciones fijas repartidas por las islas (17 en total) como de un un servicio de hemodonación itinerante, que consiste en una unidad móvil que se coloca en ciertas zonas y recoge la sangre en la calle [7]. Si bien existe un listado de localizaciones frecuentes para la donación itinerante de sangre, éste no está completo, dado que no están recogidas las campañas especiales que se realizan en zonas de gran afluencia, como las distintas facultades.

Las donaciones suelen recibirse por distintas vías: gente que voluntariamente se ha comprometido a donar en torno a una fecha (programadas), las personas que se acercan a las localizaciones disponibles para donar sin estar ïnscritos"(no programadas) y los donantes que acuden por las llamadas de urgencia por necesidad de sangre (ya sea por comunicados de prensa donde se piden donaciones urgentes o por algún familiar intervenido, por ejemplo) [8].. Pero hay que tener en cuenta que no todos los que quieren donar pueden hacerlo, ya que el incumplimiento de ciertos requisitos pueden impedirlo [9]:

- Tener entre 18 y 65 años.
- Hay que pesar más de 50 kg.

- En el caso de mujeres no estar embarazadas, ni haber tenido embarazos en los últimos 6 meses, ni estar lactando.
- No haber consumido alcohol muy recientemente.
- Estar en buen estado de salud (por ejemplo, no estar tomando antibióticos).
- No haber sufrido hepatitis B o C.
- No usar insulina en el caso de tener diabetes.
- Haber pasado 2 meses desde la última donación.
- No haber sido sometido a intervenciones quirúrgicas recientes.
- No haber residido en el Reino Unido durante más de un año entre 1980 y 1996 o haber recibido transfusiones de sangre de ese país.

La sangre se recolecta en bolsas de 450cc, ya que por ley no se puede extraer más de un 13 % del volumen total de sangre de una persona (esa es la cantidad máxima para personas que pesen unos 50kg) [9]. En lo que respecta a su tipificación, existen ocho grupos sanguíneos principales: AB-, AB+, A-, A+, B-, B+, 0- y 0+. Esta distinción se debe a las diferencias en cuanto a los antígenos presentes en la sangre (división en A, B, AB y 0) y la presencia de una cierta proteína (antígeno D o factor RH) en la membrana celular de los glóbulos rojos (será Rh-positivo si este antígeno está presente o Rh-negativo en caso contrario). Hay que tener en cuenta que estos grupos sanguíneos no están equidistribuidos, es decir, que el porcentaje de personas con cada grupo no es igual. En siguiente tabla podemos observar cómo es esta distribución en España según los datos de la Federación Española de Donantes de Sangre [10].

Tipo sanguíneo	A+	A-	B+	B-	AB+	AB-	0+	0-
Porcentaje poblacional	34 %	8 %	8 %	2 %	2,5 %	0,5 %	36 %	9 %

2.2. Componentes sanguíneos

Se aclararán ahora los distintos componentes sanguíneos que se obtienen a partir de las donaciones. La sangre que se saca directamente del donante es denominada sangre entera. Al separar esta sangre los principales componentes que se obtienen son: glóbulos rojos (también denominados eritrocitos o hematíes),

plasma sanguíneo, crioprecipitados y plaquetas [2, 7, 8, 9]. De hecho, estos derivados sanguíneos son los que principalmente se usan en los hospitales frente a la sangre entera. Se esclarecerán a continuación cada uno de estos componentes:

Concentrado de hematíes: este producto se obtiene mediante el centrifugado inicial de la sangre entera o por la precipitación de las células rojas del plasma. Se usa fundamentalmente en pacientes con en las anemias crónicas sintomáticas que no pueden ser corregidas por otros medios terapéuticos y en las pérdidas moderadas de sangre. Tiene una duración máxima de 42 días refrigerada, pero también puede ser congelada, aumentando su duración a varios años, aunque al descongelarla vuelve a ser perecedera y dura entre un día y dos semanas como máximo.

Plasma sanguíneo: este producto se refiere a la fracción líquida y acelular de la sangre. Al separar la sangre mediante centrifugación o sedimentación obtenemos este recurso de la porción clara y anticoagulada de la sangre. El plasma es esencial en la coagulación de la sangre, la irrigación de los tejidos, la defensa inmunitaria y para mantener la viscosidad de la sangre para que pueda circular por las arterias. El plasma es usado como inmunoglobulina para tratar enfermedades inmunológicas, tratar insuficiencias respiratorias, contribuir a la coagulación en casos de hemorragia como la hemofilia, y para reemplazar los fluidos perdidos y otras proteínas de la sangre en víctimas de quemaduras, cirugías y heridas graves. Tiene una duración refrigerada de 5 días, aunque se suele congelar permitiéndole aguantar en este estado hasta 2 años. El plasma que se ha congelado en menos de 8 horas desde la obtención de la sangre entera recibe, además, el nombre de plasma fresco congelado.

Crioprecipitados: Es la fracción de las proteínas plasmáticas que permanecen insolubles cuando el plasma fresco congelado es descongelado en condiciones apropiadas (entre 1 °C y 6 °C), que se vuelve a congelar. Se pueden utilizar para tratar la hemofilia o la hipofibrinogenemia y detener sangrados. Al igual que el plasma, duran entre 1 y 2 años congelados, aunque una vez descongelados tienen una duración máxima de 4 horas.

Plaquetas: este producto interviene en la coagulación de las heridas y contribuyen a reparar los vasos sanguíneos dañados. Por lo que se usan en pacientes con hemorragias y problemas de sangrado. Podemos distinguir dos tipos:

- Plaquetas aleatorias: previamente separadas de una unidad de sangre entera, se encuentran en forma de concentrado con una pequeña porción de plasma original.
- Plaquetas de aféresis: estas plaquetas se han obtenido mediante el proceso de aféresis, que consiste en conectar por vía venosa al paciente a una máquina

centrífuga que va separando automáticamente el plasma y las plaquetas, y devuelve al donante, por el mismo tubo, el resto de componentes de la sangre (hematíes y leucocitos).

Ambos tipos de plaquetas tienen una duración muy reducida (5-7 días) y sirven para lo mismo, pero existen razones para diferenciarlas. Las plaquetas de aféresis son mejores que las aleatorias. En primer lugar, para el donante ya que no le disminuye significativamente el número de plaquetas total y las reemplaza rápidamente, además, al no donar glóbulos rojos, la recuperación es casi inmediata y, por tanto se pueden hacer donaciones con la frecuencia que el donante desee (únicamente hay que esperar un mínimo de 15 días antes de volver a donar). Y en segundo lugar, la transfusión de una unidad de plaquetas de aféresis equivale a 6 unidades de las aleatorias y al provenir del mismo donante, son más seguras de usar (ya no pueden causar rechazo).

2.3. Planificación

Debido a la duración de los componentes sanguíneos, es fundamental realizar una planificación temporal de más a menos: decidiendo primero la producción necesaria estimada para el año siguiente y de ahí se va bajando a meses, semanas y días para corregir y cubrir las demandas según su variación [8].

- **Planificación anual:** basándose en los datos de años anteriores, se estima cuál va a ser la demanda a un año vista. En esta primera etapa, también se debe programar la recolecta de sangre para adecuarse a esa demanda y poder cubrirla, teniendo en cuenta que las donaciones "programadas" podrían sufrir cambios (por enfermedad, haber donado ya recientemente, haber consumido alcohol recientemente, etc.) y que algunas donaciones podrían ser defectuosas o pasar a serlo por errores internos.

- **Planificación mensual:** se pretende anticipar a un mes a la demanda, asegurándose que los días en los que abran las estaciones de donación se cubran las cuotas necesarias para no caer en un déficit. En esta etapa se considera como cuota mínima la demanda anual, dividida entre los días laborales, que se aumentará el caso de que la estimación necesaria para ese día fuera mayor. En el caso de que se prevea que la cuota no va a ser satisfecha, se pasa a llamar a donantes potenciales o se envía una unidad de donación móvil a una zona de especial afluencia.

- **Planificación semanal:** se revisan los niveles de inventario de los distintos productos (sangre de cada grupo sanguíneo, eritrocitos, plaquetas, plasma y críos), para ajustar la cantidad que tendremos que producir de cada uno y

cubrir la demanda estimada de toda la semana, planificando recolectas de sangre adicionales en caso necesario.

- **Planificación diaria:** se estudia con detenimiento el inventario y las fechas de caducidad de cada unidad, haciendo un recuento cada día de lo que queda en el almacén y actuando en consecuencia con las unidades a producir (produciendo menos si se dispone de bastante stock de caducidad cercana, o más si se anticipa que no se cubriría la demanda necesaria).

Dentro de la planificación se sigue la regla FIFO (First In, First Out, que quiere decir, lo primero que entra al inventario es lo primero en salir) dando prioridad de uso a la unidad de producto más antigua que no haya caducado [22]. Aunque existirán casos específicos en los que no se seguirá esta regla, por ejemplo, si la intervención requiriera el uso de los derivados sanguíneos más recientes.

Dentro de la planificación, existen situaciones en las que se deben tomar medidas especiales, en concreto, cuando hay escasez o en períodos vacacionales [7, 11]. Existe escasez de un producto cuando el nivel de inventario de éste no sobrepasa el quíntuple de la demanda media, y se tratará de una escasez crítica si a su vez la cantidad almacenada no sobrepasa el doble de dicha demanda media, teniendo que recolectar sangre y producir sus derivados con urgencia. En períodos vacacionales habrá que tener en cuenta que el número de donaciones baja considerablemente, debido a factores como el cierre de las universidades, los institutos, y demás lugares de gran importancia para la recolección de sangre, además de que la gente se puede ir de viaje. Esto añadido a que son épocas con repunte en el número de accidentes y el hecho de que se incrementa la demanda de sangre debido a la llegada de turistas, puede causar escasez incluso escasez crítica en los hospitales si en estas fechas no se hace especial énfasis en las campañas de recogida de sangre, aumentándolas en la medida de lo posible y, en casos desesperados, haciendo llamamientos a la ciudadanía mediante los medios de comunicación.

3

Métodos de resolución

La lista de métodos de resolución encontrados es bastante diversa. La gran mayoría de trabajos se clasifican en categorías como la simulación (ésta incluye tanto el evento discreto como la simulación de Monte Carlo), la categoría de evaluación/buenas prácticas y la investigación operativa, que se subdivide a su vez en: programación dinámica estocástica, programación lineal y programación entera. Otros documentos se colocan en las categorías del análisis estadístico (regresión lineal, análisis de supervivencia, regresión logística, ANOVA ...), Heurísticos y análisis de costos. Encontramos un trabajo que se centra en la teoría de colas (en su mayoría cadenas de Markov). Esas son las categorías con las que la mayoría de los lectores estarán familiarizados. También están unas categorías menos conocidas y que no poseen un gran número de artículos, pero muy interesantes que muestran otra manera de atacar el mismo problema. En la categoría otros se agrupan los artículos que no eran muy conocidos o que no estaba claro su método de resolución, pero que fueron lo suficientemente interesantes como para incluirlos en esta revisión de la literatura. La siguiente tabla lista los artículos según el método de resolución.

Método de resolución	Referencias
Evaluación / Buenas Prácticas	(15) (16) (18) (30) (32) (35)
Simulación	(5) (13) (3) (21) (22) (36) (20) (31) (44) (33) (40)
Programación Dinámica Estocástica	(22) (13) (21) (23) (20) (33) (40) (41) (24)
Programación Entera	(12) (43) (38) (40) (42)
Programación Lineal	(16) (13) (40)
Modelos de colas	(13)
Análisis Estadísticos	(15) (27) (13) (45) (19)
Análisis de Costos	(14) (36)
(Meta) Heurísticos	(19) (37) (43) (31)
Teoría de las Restricciones (TOC)	(39)
Sistema de Soporte de Decisiones (DSS)	(12)
What-if scenario analysis (WISA)	(17)
Hojas de Cálculo	(23)
Other/unclear	(25) (28) (29) (19)

3.1. Evaluación / Buenas prácticas

Pitocco y Sexton [16] analizaron la eficiencia de 70 centros hematológicos en los Estados Unidos para determinar hasta qué punto se podía mejorar la eficiencia operativa. Plantearon aumentar el suministro nacional de sangre incrementando la eficiencia operativa como una alternativa al aumento de la recolección y producción de componentes sanguíneos. Para ello, realizaron un análisis envolvente de datos (DEA), tanto orientada a la entrada como a la salida. Este modelo DEA fue resuelto mediante el uso de programación lineal, resolviendo un problema lineal para cada unidad. Concluyeron que la mitad de los centros de sangre en la muestra eran eficientes, mientras que los ineficientes podían tanto aumentar los salidas como disminuir las entradas.

Perera [15] identificó ejemplos de buenas prácticas en relación con el nivel de existencias y el desperdicio en los bancos de sangre hospitalarios.

J.R. Hess [32] estudió y evaluó los sistemas de almacenamiento de células rojas, ya que éstos permiten que los donantes y los destinatarios de la transfusión de glóbulos rojos puedan separarse en el espacio y el tiempo. Esto permite el control de calidad y la construcción del inventario necesario para un sistema de sangre. Las soluciones han avanzado desde el citrato y la glucosa simples, hasta las combinaciones más complejas de anticoagulantes y aditivos nutrientes-

aditivos, que actualmente permiten un almacenamiento de 6 semanas. Aún así, los actuales sistemas de almacenamiento están lejos de ser ideales, ya que permiten daños relacionados con el almacenamiento, que afectan la recuperación y la función, creando riesgos para los pacientes. Existiendo múltiples vías para desarrollar mejores sistemas de almacenamiento de glóbulos rojos.

C.K.Yannakou, M.Haeusler y G.Kelsey [35] por su parte, debido al alto grado de desperdicio de unidades de glóbulos rojos (RCUs) que son devueltos de los quirófanos en el Royal Melbourne Hospital como resultado de condiciones de almacenamiento no verificables, realiza la optimización de la gestión del inventario de glóbulos rojos, mejorando su trazabilidad y la selección segura de RCU mediante el uso de Blood360. Blood360 se trata de un sistema de liberación remota operado electrónicamente que fue instalado en el banco de sangre y los quirófanos del Royal Melbourne Hospital. Consiste en una cerradura magnética en el refrigerador de la sangre del teatro y los quioscos electrónicos que permiten la conexión bidireccional con el sistema de información del laboratorio. El sistema facilita la identificación verificable del operador y del paciente, la supervisión de la cadena del frío y la asignación correcta de la unidad del donante. Obteniendo como resultado tras 4 meses de su implementación un descenso más que notable de 93 RCU descartados menos.

Blood Inventory Management: Hospital Best Practice [30] plantea la gestión del inventario de sangre como un equilibrio entre la escasez y el desperdicio. El desafío es mantener suficientes existencias para asegurar un suministro del 100 % de sangre mientras se mantienen las pérdidas de vencimiento en el tiempo como mínimo. Este artículo se centra en la gestión de inventario de los glóbulos rojos en los laboratorios de transfusión de los hospitales, para derivar los principios de las mejores prácticas y hacer recomendaciones que aseguren que se reduzcan al mínimo las pérdidas por caducidad. En él se identifican los modelos disponibles para el manejo de inventario perecederos y se analizan datos históricos de la cadena de suministro de sangre del Reino Unido para identificar hospitales con buenas prácticas en el manejo del inventario y que tuvieran bajos niveles de desperdicio. Los hallazgos de los estudios de los casos prácticos se compararon con la literatura actual, la cual afirma que los factores que impulsan un buen rendimiento del inventario son el uso de modelos de inventario complejos y algoritmos. Este estudio demuestra que este no es el caso, en cambio, el buen desempeño es impulsado por la calidad del personal del laboratorio de transfusión, que debe ser cualificado, con capacitación regular y experiencia. El crossmatching electrónico, la transparencia del inventario, y los procedimientos simples de la gerencia también facilitan un buen funcionamiento.

3.2. Simulación

En total, 11 trabajos utilizan la simulación como método de solución. Esto viene a confirmar la complejidad de los problemas que se plantean, ya que la simulación se aplica a menudo en los casos en que es bastante difícil encontrar una política óptima. La simulación es popular porque no sufre de problemas computacionales importantes y permite resultados detallados. La principal desventaja del método es que no proporciona ninguna garantía de optimalidad. Además, los resultados reportados dependen en gran medida de la situación específica del estudio de caso y de sus supuestos simplificadores. No siempre está claro hasta qué punto los resultados pueden generalizarse. La solidez de los resultados es a menudo difícil de verificar también [21]. El método mismo se reduce a un análisis de escenarios de ensayo y error basado en la experiencia y el sentido común, evaluando la efectividad de una regla dada en lugar de ser un enfoque orientado a obtener una mejor regla [22]. A menudo, el uso de la simulación conduce a la detección de políticas casi óptimas, que pueden ser suficientes en muchos casos en los que la toma de decisiones óptima es imposible o poco práctico. Rytilä y Spens [5] tratan mediante la simulación de eventos discretos de aumentar la eficiencia en las cadenas de suministro de sangre. En su trabajo afirman que hay una falta de trabajo en las simulaciones por computadora en las cadenas de suministro de sangre, mientras que recomiendan el uso de la simulación para hacer esta compleja cadena de suministro más comprensible y eficiente. Ellos modelaron y simularon 11 escenarios diferentes, cada uno de los cuales se centra en distintos objetivos. El escenario 2, por ejemplo, se centra en el uso más eficaz de las unidades de sangre de un tipo de sangre poco común, imponiendo la regla de utilizar sólo sangre del propio tipo del paciente. El escenario 11, sin embargo, trata de costos mínimos, disponibilidad máxima y uso más efectivo de tipos de sangre raros. Los autores destacan que para la generalización de sus resultados, los escenarios pueden necesitar modificación, ya que hay diferencias en el sistema de suministro de sangre entre los países, y ellos modelaron la cadena de suministro de sangre de acuerdo a como la observaron en Finlandia.

Aún así, su intento de mejorar la gestión de la cadena de suministro de sangre mediante la simulación es un studio bastate útil que puede proporcionar una base para la construcción de nuevos escenarios en otros contextos.

Ahmet Kara e Ibrahim Dogan, con su trabajo **Reinforcement Learning Approaches for Specifying Ordering Policies of Perishable Inventory Systems** [44]. En este estudio, los autores atienden el sistema de gestión de inventario de productos perecederos bajo la demanda aleatoria y el tiempo de entrega determinista con el fin de minimizar el costo total de un minorista. Se investigan dos políticas de ordenamiento diferentes para enfatizar la importancia de la información de la edad en los sistemas de inventario perecederos usando

el aprendizaje de refuerzo (RL). La política basada en acciones repone las existencias de acuerdo con las cantidades de stock, y la política basada en la edad considera el nivel de inventario y la antigüedad de los artículos en stock. El problema considerado en se modela usando el Aprendizaje de Refuerzo y las políticas se optimizan utilizando los algoritmos Q-learning y Sarsa. El desempeño de las políticas que propuestas en el artículo en comparación con políticas similares de la literatura, demostrando que la política de ordenación que tiene en cuenta la información de la edad parece ser una política aceptable y el aprendizaje con RL proporciona mejores resultados cuando la demanda tiene una alta varianza y los productos tiene vidas cortas.

3.3. Programación dinámica estocástica (SDP)

Van Dijk [22] combina la programación dinámica estocástica con la simulación para desarrollar un nuevo enfoque hacia el problema del inventario de plaquetas sanguíneas. La programación dinámica estocástica es una técnica de optimización matemática para problemas en los que las decisiones se toman periódicamente [22]. Las unidades con las que trabajan son los llamados "pools PLT", que es la cantidad generalmente requerida para un paciente. Un grupo PLT se deriva normalmente de cinco capas leucocitarias. Una capa leucocitaria es una mezcla de plasma sanguíneo y plaquetas que permanece después de la extracción de glóbulos rojos. Las plaquetas se extraen de estas cinco capas blanquecinas diferentes y se reúnen posteriormente en una sola piscina PLT [21] .El método SDP se utiliza para minimizar los costos. Aquí se centran en la conocida búsqueda del equilibrio entre evitar la caducidad de las plaquetas y la escasez de las mismas. La formulación del problema SDP no es un gran problema, sin embargo la solución es, por lo que para su resolución se reduce el tamaño del problema antes de resolverlo, aunque, es bastante probable que las soluciones óptimas obtenidas del SDP sean estrategias de producción complejas y por lo tanto poco práctica.

Más tarde, un hecho notable surgió de la aplicación práctica del método en un banco de sangre regional holandés [22], se descubrió que la distinción entre los grupos sanguíneos y la contabilidad del factor Rhesus resultó ser innecesaria, ya que la cantidad de plaquetas necesarias era significativamente menor que la que se podía producir con donaciones de sangre entera. Mencionan que cuando la fracción de la demanda de PLT de las donaciones de sangre entera se hace más alta, una distinción entre grupos sanguíneos podría ser necesaria. Haijema et al. [21] amplían el enfoque que desarrollaron en [22] para incluir rompimientos de producción irregulares como Semana Santa y Navidad. Ellos encuentran que la regla simple de orden hasta el final sigue siendo casi óptima, mientras que durante los recesos los anticuados y las escaseces pueden mantenerse aún menos

del 1 %. También se observa que los periodos sin producción pueden integrarse en los periodos de producción.

Mary Dillona, Fabricio Oliveira y Babak Abbasia [40], por otra parte, con este artículo proponen un modelo de programación estocástica en dos etapas para definir las políticas óptimas de revisión periódica de la gestión de inventarios de glóbulos rojos, que se centran en minimizar los costos operativos así como la escasez de sangre y el desperdicio debido a la caducidad de las unidades de plaquetas. La adopción de este marco permite la consideración de procesos estocásticos más generales para modelar la incertidumbre de la demanda que los enfoques actualmente disponibles en la literatura. Por otra parte, este marco genera un modelo que puede ser resuelto eficientemente por el uso general de software de optimización. Se presenta un estudio de un caso considerando datos realistas que representan la demanda diaria de sangre, generada usando el promedio y la desviación estándar de la demanda de ocho tipos de sangre. Los resultados sugieren ideas significativas sobre las prácticas que podrían conducir a la mejora en el rendimiento de la cadena de suministro de sangre. En particular, observamos que sería posible revisar las actuales políticas de control de inventarios al reducir los actuales niveles objetivo para disminuir el desperdicio y el costo total sin comprometer el nivel de servicio. Por último, la consideración de las sustituciones de sangre mostró una mejora adicional en el rendimiento del sistema de gestión de inventario de sangre.

Managing blood inventory with multiple independent sources of supply [41] se centra en la gestión de los glóbulos rojos por un gran centro médico dentro de una red regional de intercambio de sangre. Este trabajo proporciona una contribución tanto teórica como gerencial a la literatura de inventario perecedero de vida, considerando múltiples fuentes independientes de suministro. Una fuente suministra sangre a través de un proceso típico de orden permanente. Las otras fuentes son hospitales de menor uso más pequeños que aleatoriamente transfiere sangre al centro médico. La sangre transferida se caracteriza por una vida media mucho más corta que la sangre suministrada por orden permanente e introduce incertidumbre adicional en el proceso de gestión de inventario. Se termina proponiendo un enfoque de solución que se puede aplicar fácilmente en la práctica y resolver el problema de minimización de costos multi-periodo utilizando un programa dinámico.

3.4. Programación Entera

Serkan Gunpinar y Griselle Centeno [38], se centran en una parte de la cadena de suministro de las plaquetas, concretamente en la ruta que tienen que realizar los vehículos que transportan la sangre para recolectarla y distribuirla.Para ello se realizó un estudio sobre el enrutamiento de los vehículos (VRP,

por sus siglas en inglés Vehicle Routing Problem). Modelando el problema mediante un enfoque de programación entera para identificar simultáneamente el número de vehículos para operar y minimizar la distancia recoorrida. Para hacerlo más útil, el modelo se amplía considerando potenciales sanguíneos inciertos y duraciones variables en las paradas móviles. Termina el estudio usando el algoritmo de solver de CPLEX y Branch-and-price (que se trata de un método híbrido de los métodos de ramificación y acotación y generación de columnas muy útil para resolver problemas de programación lineal entera y de programación lineal entera mixta con muchas variables) para obtener las rutas óptimas, determinándose que el algoritmo propuesto soluciona el problema óptimamente para hasta 30 ubicaciones en 3600 s.

Suchithra Rajendran y A. Ravi Ravindran [43], por otro lado, viendo que los hospitales pierden una cantidad signicativa de plaquetas debido a la incertidumbre de la demanda, deciden desarrollar una modelo que permita optimizar la política de pedidos, minimizando el desperdicio de plaquetas mientras se mantiene un nivel de servicio especificado. Para lograr este objetivo, se desarrolla un modelo de programación estocástico de enteros mixtos bajo incertidumbre de la demanda. Debido a la complejidad computacional del problema, se proponen tres reglas heurísticas para determinar la política de ordenación de plaquetas en el hospital. El desempeño de estas tres políticas de ordenación se compara con el de la revisión periódica de orden a la política propuesta en la literatura usando datos de la vida real obtenidos de un centro médico. La vida útil de las plaquetas que llegan, el coeficiente de variación de la demanda y los parámetros de costos son variados y su impacto se analiza en las medidas de desempeño y se determina la mejor regla con respecto a cada ajuste. Sobre la base de la vida útil y la priorización de costos, el tomador de decisiones puede elegir la regla más adecuada para el hospital.

Hamidreza Ensafian y Saeed Yaghoubi [42] en este trabajo presentan una cadena de suministro de plaquetas integrada donde la demanda se diferencia por edad según el tipo de paciente. En primer lugar, considerando el método de aféresis y el método tradicional de producción de plaquetas, se desarrollan dos modelos de programación de enteros mixtos basados en las políticas de emisión FIFO (First In First Out) y LIFO (Last In First Out). Puesto que en la práctica se han preferido plaquetas frescas, se ha desarrollado entonces un modelo biobjetivo en el que el primer objetivo maximiza la frescura de las unidades entregadas y el segundo minimiza el coste total. Para hacer frente a la demanda incierta, se presenta un enfoque robusto de optimización y la aplicación del modelo propuesto se discute en un estudio de caso.

3.5. Programación Lineal

Prastacos [13] utiliza métodos de programación de objetivos en su trabajo, que es una aplicación de programación lineal. La programación de objetivos es una rama de la optimización multiobjetiva, que a su vez es una rama del análisis de decisiones multicriterio (MCDA). Puede considerarse como una extensión o generalización de la programación lineal para manejar múltiples medidas objetivas normalmente conflictivas. A cada una de estas medidas se le asigna una meta o un valor objetivo. Las desviaciones no deseadas de este conjunto de valores objetivo se minimizan en una función de logro. Esto puede ser un vector o una suma ponderada dependiente de la variante de programación de objetivo utilizada. La programación de objetivos se utiliza para realizar tres tipos de análisis:

- Determinar los recursos necesarios para lograr un conjunto deseado de objetivos.
- Determinar el grado de consecución de los objetivos con los recursos disponibles.
- Proporcionar la mejor solución satisfactoria bajo una cantidad variable de recursos y prioridades de las metas.

En este artículo Prastacos realiza una pequeña revisión de las contribuciones recientes de la investigación de operaciones a la teoría y práctica de la gerencia del inventario de la sangre. Enfocándolo en un abordaje de varias cuestiones que considera importantes desde una perspectiva unificada de teoría y práctica.

Como ya se mencionó anteriormente al hablar de los métodos de benchmarking, Pitocco y Sexton [16] formulan y resuelven su modelo DEA mediante programación lineal.

3.6. Modelos de colas

Brodheim et al. (13) combinan la modelación de la cadena de Markov con el análisis estadístico. Ellos desarrollaron un modelo que es capaz de traducir la demanda y el uso de la sangre en disponibilidad y utilizarlar como funciones de la política de distribución de sangre del centro regional de sangre y del banco de sangre. El objetivo de su investigación fue obtener estrategias regionales de asignación con propiedades deseables en cuanto a disponibilidad y utilización. Realizan una distinción entre unidades de retención y unidades de rotación. Las

unidades de rotación son aquellas que pueden ser devueltas al centro de sangre regional cuando están en exceso de un nivel de inventario deseado predefinido al final de un periodo. Estas unidades pueden ser redistribuidas por el centro regional de sangre como unidades de retención, de esta manera evitando el deterioro por desactualización. Las unidades de retención, por otra parte, permanecen permanentemente en el banco de sangre del hospital hasta que son transfundidas o anticuadas. Las unidades de retención son generalmente un par de días más viejas que las unidades de rotación cuando se distribuyen al banco de sangre del hospital. La tasa de utilización se determina entonces por el número de unidades de retención en el inventario, ya que sólo estas unidades son capaces de anticuado en el banco de sangre del hospital. Brodheim et al. utilice una cadena de Markov de estado finito para modelar el número de unidades de retención en el inventario inmediatamente después de cada entrega.

3.7. Análisis estadístico

Melnyk [45] en su estudio trabaja con el análisis de supervivencia, que es un conjunto de técnicas estadísticas utilizadas para determinar el impacto cuantitativo de variables independientes en una variable dependiente. La variable dependiente representa el intervalo de tiempo entre eventos. Contiene técnicas estadísticas paramétricas, semi paramétricas y no paramétricas. Investigan los datos del proceso de donación de sangre usando esta técnica para identificar diferencias en el tiempo de procesamiento entre diferentes clases de donantes. Distinguen entre tres diferentes grupos de donantes: donantes regulares, autólogos y dirigidos. Los donantes regulares son aquellas personas que dan sangre a la piscina general sin restricciones. Estas personas forman el mayor grupo de donantes y constituyen la columna vertebral del sistema. Los donantes autólogos, por otra parte, dan sangre para su propio uso futuro. Estas personas son a menudo más viejas y / o discapacitadas, constituyendo un grupo mucho más pequeño. Un tercer grupo es el de los donantes dirigidos, que son personas que dan sangre para una persona o grupo específico de personas (generalmente un miembro de la familia). Los donantes se dividen en donantes nuevos y repetidos. Si las seis clases son significativamente diferentes, entonces podría ser útil desarrollar un diseño diferente para cada clase. Se llegó a la conclusión de que la diferencia entre el donante de la primera y la repetición no tuvo ningún impacto en la distribución del tiempo de procesamiento, demostrando que vale la pena tener dos estaciones separadas en la etapa de historia de salud del proceso de donación: una para regular y otra para donantes dirigidos y autólogos. Para las otras etapas, no hay ningún daño en el tratamiento de los tres grupos de donantes como uno. El trabajo de Melnyk [45] es además una ilustración de la utilidad y aplicabilidad del análisis de supervivencia en la gestión de operaciones.

Perera. [15] investiga que factores afectan el nivel de existencias y el desperdicio en los bancos de sangre hospitalarios. Para ello se apoyan en el uso de la prueba t de Student para analizar el stock de sangre y los datos de desperdicio. Los datos para las variables explicativas se recogieron a través de cuestionarios. Las preguntas se referían al periodo de reserva de crossmatch, procedimientos operativos estándar para la colocación de órdenes sanguíneas y método de cálculo de ordenación sanguínea, entre otras cosas.

3.8. Análisis de costos

Rautonen [14] realiza un anílisis de costes de la cadena de suministro de sangre en Finlandia se examinan Los costos del servicio de sangre de la Cruz Roja Finlandesa y los costos del hospital hasta el momento en que el producto sanguíneo está listo para la transfusión. El análisis revela que los costos de material representan solo el 25 % de los costos totales. La sugerencia de Rautonen es reducir los costos relacionados con la sangre mejorando los procesos tanto en los hospitales como en la Cruz Roja Finlandesa. El estudio hace hincapié en la importancia de la cooperación entre los dos con el fin de lograr los máximos resultados.

Chaaben Kouki, Zied Jemäii y Stefan Minner [36] van más allá en su estudio creando una nueva política (r, Q) con roturas y distribución continua de la demanda para un sistema de inventario perecedero que opera bajo demanda estocástica, vida constante y un tiempo de entrega constante. En él se muestran las propiedades de la función de coste y se presenta un procedimiento de optimización para encontrar la mejor política (r, Q). Después se evaluó la idoneidad de los modelos propuestos en comparación con la política óptima (r, Q), mostrando que esta propuesta supera a cualquier otra aproximación existente mediante un análisis numérico para examinar el rendimiento del modelo propuesto y estudiar la sensibilidad a los cambios en los parámetros del sistema. Este modelo propuesto contribuye a la literatura proporcionando un algoritmo simple y eficiente para calcular los mejores parámetros (r, Q) que minimizan el costo total. Además, se puede utilizar en sistemas automatizados de pedidos en tiendas.

3.9. (Meta)Heurísticos

Entre las publicaciones utilizan los heurísticos como método de resolución, descata el trabajo de Ismail Civelek, Itir Karaesmenb y Alan Scheller-Wolfc.**Blood platelet inventory management with protection levels** [37]. En este artículo se introduce una política de nivel crítico para un sistema de inventario de tiempo discreto perecedero diferenciado por edad. Además de los costos clásicos para la tenencia de inventario, la desactualización y la escasez, este

modelo tiene en cuenta los costos de sustitución (desajuste) incurridos cuando la demanda de un artículo de cierta edad es satisfecha por un artículo de diferente edad. En el estudio se propone una reposición simple de inventario y heurística de asignación para minimizar el coste total esperado en un horizonte de tiempo infinito, con esta heurística el inventario de los elementos más nuevos se repone en cantidades fijas y los elementos más nuevos se protegen para uso futuro limitando algunas sustituciones al tomar decisiones de asignación de acuerdo con una política de nivel crítico. Se deriva el problema como un proceso de decisión de Markov (MDP), derivando los costos de la política heurística elegida y se compara computacionalmente esta política con las políticas casi óptimas existentes en la literatura. Este estudio concluye demostrando que la política elegida conduce a un rendimiento superior en comparación con las heurísticas existentes en la literatura, particularmente cuando los suministros son limitados.

3.10. Teoría de las restricciones (TOC)

La teoría de las restricciones (TOC) es un paradigma de gestión que ve a cualquier sistema manejable como limitado en el logro de más de sus objetivos por un número muy pequeño de restricciones. Siempre hay al menos una restricción, y TOC utiliza un proceso de enfoque para identificar la restricción y reestructurar el resto de la organización a su alrededor. TOC adopta el lenguaje común üna cadena no es más fuerte que su eslabón más débil". Esto significa que los procesos, las organizaciones, etc., son vulnerables porque la persona o parte más débil siempre puede dañarlos o romperlos o al menos afectar adversamente el resultado.

Harshal Lowalekar y R. Raghavendra Ravi [39] con esta investigación demuestran una aplicación del proceso de pensamiento (TP, por sus siglas en inglés Thinking Process) de TOC en un entorno de banco de sangre. Tómese un ejemplo de un banco de sangre de la vida real que está luchando con los problemas de la escasez alta y el desperdicio de productos de la sangre, de los niveles de inventario grandes, de la colección pobre y errática de la sangre, de la variedad limitada del producto, del alto índice de error, de la rotación alta de técnicos, gastos operativos y bajos niveles de ingresos. Se muestra usando el enfoque TOC como estos problemas aparentemente no relacionados están de hecho muy interrelacionados y como todos ellos se originan a partir de una raíz causal única. Un árbol de la realidad actual (CRT) se utiliza para identificar la raíz causal responsable de todos los principales problemas del banco de sangre. Para ello se construye un diagrama de resolución de conflictos (CRD) con el que identificar el (los) conflicto (s) central (es) responsable (s) del mal desempeño del banco de sangre. Obteniéndose una solución simple pero potente para el banco dado rompiendo el conflicto-núcleo que resulta de una restricción de paradigma en el

banco de sangre. Se construye también un futuro árbol de la realidad (FRT, por sus siglas en inglés) para mostrar como el enfoque TOC ayudará al banco de sangre a reducir sus niveles de escasez y desperdicio a pesar de recoger menos unidades en los campos de donación de sangre. Con estas nuevas políticas el banco será capaz de reducir significativamente sus inventarios y podrá emitir unidades más frescas a los pacientes. Los niveles de ingresos del banco de sangre aumentarán, mientras que sus gastos operativos disminuirán debido al enfoque del TOC. Por último la simulación de un modelo muestra que la solución TOC propuesta reducirá la escasez anual de glóbulos rojos en un 66 % y las plaquetas en un 82 % en el banco. Del mismo modo, el desperdicio de glóbulos rojos disminuirá en un 93 %, el plasma en un 99 % y las plaquetas en un 98 %. El nivel de inventario promedio de los glóbulos rojos disminuirá en un 41 %, el plasma en un 95 % y las plaquetas en un 10 %.

3.11. Sistema de soporte a las decisiones (DSS)

Los DSS (por sus siglas en inglés Decision Support System) son "Sistemas informáticos interactivos que ayudan a los encargados de tomar decisiones utilizando datos y modelos para resolver problemas no estructurados"(Sprague y Carlson [46]). Conseguir emparejar satisfactoriamente la demanda de plaquetas con su suministro, es un trabajo muy difícil, por ello, Ghandforoush P. y Sen T.K [12] deciden realizarlo mediante una cadena de suministro eficiente DSS que se optimiza para la entrega de plaquetas desde centros de producción a centros de transfusión. Para ello usan los datos de un banco de sangre regional. Uno de los elementos clave del DSS es un modelo de optimización de números enteros no convexos que ayuda al administrador regional del centro de sangre a programar el transporte de transporte de sangre entera de los sitios de recolección al centro de procesamiento regional. Este modelo propuesto se transforma en un problema lineal 0-1 usando un proceso de conversión de dos pasos, y cuya resolución alcanza la solución óptima para los datos de la prueba. Los resultados sugieren que el DSS propuesto satisface mejor la demanda diaria produciendo un plan de producción superior y un horario de asignación móvil.

3.12. What-If Scenario Analysis

El What-if scenario analysis (WISA) es una técnica de planificación que permite producir varias proyecciones de resultados basados en cambios selectivos de los datos de entrada. La planificación de escenarios permite una rápida y eficaz respuesta a situaciones alternativas, ya que han desarrollado estrategias en las que confiar.

Davis [17] estudia el impacto del uso de etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID) de alta frecuencia para rastrear los productos sanguíneos en los centros hematológicos. Plantea que la identificación por radiofrecuencia, puede ser un elemento clave para mejorar la productividad y la seguridad de la cadena de suministro de productos sanguíneos, mostrando un enfoque sistemático desarrollado por el Consorcio de Sangre RFID para una exhaustiva evaluación de la viabilidad y el impacto de la aplicación de RFID en las operaciones del centro de sangre. Incorpora perspectivas orientadas al proceso y tecnológicas, así como al análisis de impacto. La evaluación tecnológica incluye la legibilidad de etiquetas RFID y la evaluación del desempeño, la prueba de la temperatura y los efectos biológicos de la energía de radiofrecuencia en los productos sanguíneos y el diseño y las normas de la arquitectura del sistema RFID. El alcance de este artículo se limita a los procesos del centro de la sangre (de la donación a la fabricación / distribución) para determinados productos hemoderivados (glóbulos rojos y plaquetas).

Concluyendo que la identificación por radiofrecuencia puede ayudar a superar una serie de desafí os comunes e ineficiencias de procesos asociados con la identificación y seguimiento de los productos sanguíneos, así como mejoras en la productividad y calidad en los procesos que lo impliquen. Además añade que con el ahorro se puede recuperar el costo de inversión en un período de 4 años, por lo que incorporar RFID en los procesos de los centros de sangre, es factible y económicamente justificable.

3.13. Hoja de Cálculo

Las hojas de cálculo son muy útiles pues permiten ajustar cualquier valor almacenado y observar los efectos en los valores calculados. Dotándolas de una gran utilidad para el análisis de "lo que pasa", ya que se pueden investigar muchos casos rápidamente sin recálculo manual. El trabajo **Improving platelet supply chains through collaborations between blood centers and transfusion services** [23], desarrolló mediante la colaboración entre el Servicio de Transfusiones del Centro Médico Universitario de Stanford (SUMC), el Centro de Sangre de Stanford (SBC), y el Departamento de Ciencias de la Gestión e Ingeniería. En él optimiza de la gestión del inventario de plaquetas (PLT) para reducir las pérdidas por caducidad mediante la monitorización de las donaciones mediante el uso de hojas de cálculo. Para ello primero realiza un análisis del rendimiento de la cadena de suministro entre SBC y SUMC, comprobando la interacción para su posterior mejora en tres procesos: la recolección de sangre, el proceso de rotación y el manejo de inventario. Para después implementar cambios mediante las hojas de cálculo. El post-análisis mostró una reducción de la tasa general de PLT de 19 % en el primer trimestre de 2006, hasta un 9 % en el

tercer trimestre de 2008, permitiendo la reducción de costos de más de medio millón de dólares por año.

3.14. Análisis de la tendencia de los métodos de resolución

La siguiente gráfica muestra el número de publicaciones acumuladas en el tiempo para cada tipo de método de solución.

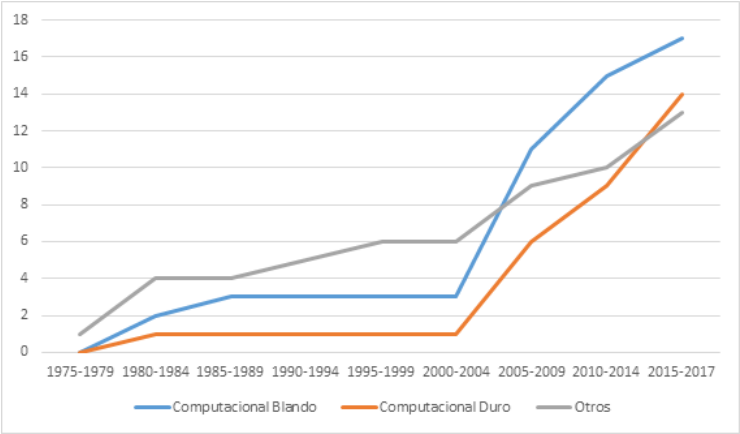

Figura 3.1. Tendencia de métodos de resolución

Se ha agrupado los métodos de resolución en tres categorías:

- Computacional Blando: Que incluye todos aquellos trabajos que usan la simulación, el análisis estadístico o la evaluación/mejores prácticas.
- Computacional Duro: Se trata de todas las publicaciones que usan un enfoque más complejo computacionalmente hablando, entre las que se incluyen la programación lineal, la programación entera y la programación dinámica estocástica.
- Otros: Esta categoría engloba todos aquellos artículos que usan otros métodos de resolución, como los heurísticos, la teoría de restricciones, etc.

Así se puede observar en la gráfica claramente, como estos trabajos agrupados en la categoría otros, fueron los más numerosos en los inicios, pero que

se vieron superados a partir del año 2004 por los enfoques çomputacionales blandos", y posteriormente también por los çomputacionales duros". Durante la última década los trabajos que involucran enfoques çomputacionales blandos"superan en número a publicaciones que involucran enfoques çomputacionales duros.ªunque estos últimos hayan tenido un crecimiento muy veloz estos últimos años. Teniendo en cuenta que sólo un artículo escrito después de 1980 contiene una prueba matemática, se sugiere que hoy en día los investigadores de diversos campos (gerentes de los centros de salud, economistas, científicos computacionales, etc.) estudian los problemas de la gestión de suministro de plaquetas, mientras que en los años setenta sólo los investigadores con una sólida formación matemática estudiaban estos problemas. Los artículos modernos a menudo presentan un enfoque más fácil de usar, por ejemplo, mediante el uso de software de simulación, permitiendo el uso directo por parte del personal del hospital.

Por último, la investigación reciente tiende a enfatizar el aspecto multidisciplinario de la gestión de la cadena de suministro de las plaquetas. Esto se traduce en la aplicación de metodologías de diferentes campos (econometría, gestión de bases de datos, gestión de operaciones, investigación de operaciones, etc.) en lugar de centrarse en desarrollar una sofisticada programación lineal (entera) o programación dinámica sin implementación en un sistema de soporte de decisión.

4

Conclusiones

En este artículo, se ha hecho una revisión de la literatura existente sobre el inventario y la gestión de la cadena de suministro de las plaquetas.

Primero se ha hecho un recorrido a través de la sangre y sus derivados sanguíneos, explicándolos de una manera breve pero concisa, ya que es fundamental conocer la cadena de suministro de plaquetas entera, para saber lo importante que es conseguir implementar no solo el problema de emparejar las entradas (donaciones) con las salidas (uso de las mismas), sino todas las partes implicadas (como bien apunta las teorías de las restricciones) para así tener una mayor eficiencia y que se produzcan el menor número de roturas (caducidad de las plaquetas, descartes de unidades por un mal uso durante la cadena,etc.).

Después se revisaron los manuscritos relacionados con nuestro tema de interés (en nuestro caso, las plaquetas y su gestión de inventario y de la cadena de suministro) existentes en la literatura hasta Agosto de 2017. Clasificándolos según su método de resolución, permitiendo así una búsqueda más sencilla de los mismos para posteriores consultas. Estas clasificaciones se ejemplifican a través de la cita de referencias clave o exponiendo las características de la perspectiva primordial.

Y por último se realizó un análisis de las tendencias en el uso de los métodos de resolución por parte de los artículos. En él se reagruparon los trabajos dependiendo de si pertenecían a un enfoque computacional "blando.º "duro", o ninguno de los dos. Se puede observar en el gráfico creado, la predilección actual por el uso de enfoques computacionales blandos, sobre todo, mediante la simulación.

La principal contribución de esta revisión literaria es facilitar el rastreo de trabajos publicados en campos relevantes a la gestión de inventario y cadena

de suministro de plaquetas, así como identificar las tendencias de estudio más actuales.

Bibliografía

[1] Nahmias, S. (1982) *Perishable inventory theory: a review. Operations research Vol 30, pp. 680-780*

[2] Forcé, H. and Beliën, J. (2012) *Supply chain management of blood products: A literatura review*

[3] Katsaliaki, K. (2008) *Cost-effective practices in the blood service sector. Health Policy, Vol 86, pp. 276-287*

[4] Schreiber, G. B.; Schlumpf, K. S.; Glynn, S.A.; Wright. D. J.; Yongling, T.; King, M.R.; Higging, M.J.; Kressler, D.; Gilcher, R.; Nass C.C. and Guiltan, A.M.(2006) *Convenience, the bane of our existence, and other barriers to donating. Transfusion, Vol 46,4, pp. 545-553*

[5] Rytilä J. S. and Spens, K.M. (2006) *Using simulation to increase efficiency in blood supply chains. Management Research News, Vol 29,12 pp.801-819*

[6] Pierskalla, W.P. and Sainfort, F. (2004) *Supply chain management of blood banks. Operations research and health care: A handbook of methods and applications. Academic publishers, pp.103-145*

[7] ICHH *http://www.gobiernodecanarias.org/sanidad/ichh/*

[8] Ballou, R.H.(2004) *Logística: Administración de la cadena de suministro. 5Âª ed. México: Pearson educación*

[9] Cruz Roja Española *http://www.donarsangre.org/puedo-donar-si/*

[10] Federación Española de Donantes de Sangre *http://www.donantesdesangre.net/menusangre.htm*

[11] Douglas, I.; Hollan S.R.; Wagstaff, W.; Leikola, J. and Lote, F. J. (1990) *Managenement of blood transfusion services. Soc Health 11 (2): 79*

[12] Ghandforoush, P. and Sen.T.K. (2010) *A DSS to manage platelet production supply chain for regional blood centers. Decision Support Systems, Article in Press*

[13] Prastacos, G.P. (1984) *Blood inventory management: an overview of theory and practice. Management Science, Vol 30, 7, pp. 777-800*

[14] Rautonen, J. (2007) *Redesigning supply chain management together with the hospitals. transfusion, Vol 47, 2, pp. 1975-2005*

[15] Perera, G.; Hyam, C.; Taylor, C. and Chapman, J.F. (2009) *Hospital blood inventory practice: the factors affecting stock level and wastage. Transfusion Medicine, Vol 19, 2, pp. 99-104*

[16] Pitocco, C. and Sexton, T.R. (2005) *Alleviating blood shortages in a resource-constrained environment. Transfusion, Vol 45, 7, pp. 50-60*

[17] Davis, R.; Geiger, B. ; Gutierrez, A.; Heaser, J. and Veeramani, D.(2009) *Tracking blood products in blood centres using radio frequency identification: a comprehensive assessment. Voz Sanguinis, Vol 97, 1 pp. 50-60*

[18] Chapman, J.F. (2007) *Unlocking the essentials of effective blood inventory management. Transfusion, Vol 47, pp. 1605-1965*

[19] Delen, D.; Erraguntla, M.; Mayer, R.J. and Wu, C.-B. (2009) *Better management of blood supply chain with GIS-based analytics. Annals of Operations Research, Article in Press*

[20] Mustafee, N.; Taylor, S.J.E.; Katsaliaki, K. and Brailsford, S. (2009) *Facilitating the analysis of a UK national blood service supply chain using distributed simulation. Simulatio, Vol 85, 2, pp.113-128*

[21] van Dijk, N.; Haijema, R.; van der Wal, J. and Sibinga, C.S. (2009) *Blood platelet production with breaks: optmization by SDP and simulation. International Journal of Production Economics, Vol 121, 2, pp. 464-473*

[22] van Dijk, N.; Haijema, R.; van der Wal, J. and Sibinga, C.S. (2009) *Blood platelet production: a novel approach for practical Optimization. Transfusion 49, 3, pp. 411-420*

[23] Fontaine, M.J.; Chung, Y.T.; Rogers, W.M.; Sussmann, H.D.; Quach, P. Galel, S.A.; Goodnough, L.T. and Erhun, F. (2009) *Improving platelet supply chains through collaborations between blood centers and transfusion, Vol 49,10, pp. 2040-2047*

[24] Blake, J.T. (2009) *On the use of operational research for managing platelet inventory and ordering. Transfusion Vol 49, 3, pp 396-401*

[25] Sirelson, V. and Broheim E. (1991) *A computer planning model for blood platelet production and distribution. Computer methods and program in biomedicine, Vol 35, 4, pp. 279-291*

[26] Katz, A.J.; Carter, C.W.; Saxton, P.; Blutt, J. and Kakaiya, R.M. (1983) *Simulation analysis of platelet production and inventory management. Vox Sanguinis, Vol 44, 1, pp.31-36*

[27] Critchfield, G. C.; Connelly, D.P.; Ziehwein, M.S.; Olesen, L.S.; Nelson, C.E. and Scott, E.P.(1985) *Automatic prediction of platelet utilization by time series analysis in a large tertiary care hospital. American journal of clinical pathology, Vol 85, 5, pp. 627-631*

[28] Ledman, R.R. and Groh, N.(1984) *Platelet production planning to ensure availability while minimizing outdating. Transfusion, Vol 24, 6, pp.532-533*

[29] Friedberg, R.C. (1996) *Clinical and laboratory factors underlying refractoriness to platelet transfusions. Journal of Clinical Apheresis Vol11, 3, pp. 143-148*

[30] Stanger, S.H.W.; Yates, N.; Wilding, R. and Cotton, S.(2012) *Blood Inventory Management: Hospital Best Practice*

[31] Duan, Q. and Liao T.W.(2013) *A new age-based replenishment policy for supply chain inventory optimization of highly perishable products*

[32] Hess, J.R. (2014) *Pathobiology of Human Disease Red Blood Cell Storage*

[33] Haijema, R.(2014) *Optimal ordering issuance and disposal policies for inventory management of perishable products*

[34] Abdulwahab, U. and Wahab M.I.M. (2014) *Approximate dynamic programming modeling for a typical blood platelet bank*

[35] Yannakou, C.K.; Haeusler, M. and Kelsey, G.(2015) *Improvement in red cell inventory management using blood 360- a pilot study at the royal melbourne hospital*

[36] Kouki, C.; Jemäi, Z. and Minner, S.(2015) *A lost sales (r,Q) inventory control model for perishables with fixed lifetime and lead time*

[37] ItirKaraesmenb, I. and Scheller-Wolfc, A.(2015) *Bood platelet inventory management with protection levels*

[38] Gunpinar, S. and Centeno, G. (2016) *An integer programming approach to the boodmobile routing problems*

[39] Lowalekar, H. and Ravi, R.R. (2017) *Revolutionizing blood bank inventory management using the TOC thinking process: An Indian case study*

[40] Dillon, M; Oliveira, F and Abbasi, B. (2017) *A two-stage stochastic programming model for inventory management in the bood supply chain*

[41] Puranama, K.; Novak, D.C.; Lucas, M.T. and Fung, M. (2017) *Managing blood inventory with multiple independent sources of supply*

[42] Ensafian, H. and Yaghoubi, S. (2017) *Robust optimization model for integrated procurement, production and distribution in platelet supply chain*

[43] Rajendran, S. and Ravindran K.R. (2017) *Platelet ordering policies at hospitals using stochastic integer programming model and heuristic approaches to reduce wastage*

[44] Kara, A. and Dogan, I. (2017) *Reinforcement Learming Approaches for Specifying Ordering Policies of Perishable Inventory Systems*

[45] Melnyk, S.A.; Pagell, M.; Jorae, G. and Sharpe, A.S.(1995) *Applying survival analysis to operations management: analyzing the differences in donor classes in the bood donation process. Journal of Operations Management*

[46] Sprague, R.H. and Carlson, E.D. (1982) *Building effective decision support systems. Englewood Cliffs, N. J. ; Prentice-Hall*

A Literature Review: Supply chain management of platelets

Bruno Mesa Martín

Facultad de Ciencias · Sección de Matemáticas
Universidad de La Laguna
alu0100623239@ull.edu.es

Abstract

This paper presents a review of the literature on inventory and management of the platelet supply chain.
First, the concepts associated with blood and its derivatives are introduced, since donations from blood are the first step in the supply chain. Afterwards a study of the articles that are related to the management of the platelets is carried out, clarifying them by its method of resolution. Each method is exemplified through the quotation of key references or exposing the characteristics of that perspective. The main contribution of this literary review is to facilitate the tracing of published works in relevant fields of interest, as well as to identify trends in the resolution procedure over the years.

1. Introduction

The management of blood, and of platelets in particular is a crucial problem nowadays. This is because platelets are not a readily obtainable resource, the supply of the platelet is quite irregular, has a rather limited life span (5-7 days) and the demand for them is random.
That is why good management of these products is essential throughout the supply chain. From the collection of the platelets of donated blood units, their storage until the use of them in some surgical intervention. From this need to optimize the management of inventory and the supply chain, this work arises. With this paper we intend to group all the articles related to this topic of platelet management. For this, a review of the existing literature is carried out. All selected are reviewed and grouped according to the characteristics of the resolution method used. This will facilitate the tracking, by future researchers, of works in fields related to those studied here.

2. Methods of resolution

In this section, the articles are categorized according to their method of resolution in:

- Evaluation / Good Practices
- Simulation
- Stochastic Dynamic Programming (SDP)
- Integer Programming
- Linear Programming
- Queuing Models
- Statistical Analysis
- Cost Analysis
- (Meta) Heuristics
- Theory of Restrictions (TOC)
- Decision Support System (DSS)
- What-if Scenario Analysis
- Custom Spreadsheet

3. Trend of methods of resolution

We study the trend of existing articles, analyzing their evolution and the reason for it.

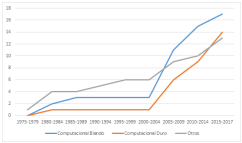

Figure 1: *Trends of resolution's method*

References

[1] Nahmias, S. (1982) *Perishable inventory theory: a review. Operations research Vol 30, pp. 680-780*

[2] Forcé, H. and Beliën, J. (2012) *Supply chain management of blood products: A literatura review*

[3] Perera, G.; Hyam, C.; Taylor, C. and Chapman, J.F. (2009) *Hospital blood inventory practice: the factors affecting stock level and wastage. Transfusion Medicine, Vol 19, 2, pp. 99-104*

[4] Pitocco, C. and Sexton, T.R. (2005) *Alleviating blood shortages in a resource-constrained environment. Transfusion, Vol 45, 7, pp. 50-60*

[5] van Dijk, N.; Haijema, R.; van der Wal, J. and Sibinga, C.S. (2009) *Blood platelet production with breaks: optmization by SDP and simulation. International Journal of Production Economics, Vol 121, 2, pp. 464-473*

[6] Gunpinar, S. and Centeno, G. (2016) *An integer programming approach to the boodmobile routing problems*

[7] Lowalekar, H. and Ravi, R.R. (2017) *Revolutionizing blood bank inventory management using the TOC thinking process: An Indian case study*

[8] Dillon, M; Oliveira, F and Abbasi, B. (2017) *A two-stage stochastic programming model for inventory management in the bood supply chain*

[9] Ensafian, H. and Yaghoubi, S. (2017) *Robust optimization model for integrated procurement, production and distribution in platelet supply chain*