

Diego Díaz Rodríguez

*Optimización en la producción
de plaquetas en el Instituto
Canario de Hemodonación y
Hemoterapia*

Optimization in the production of platelets in
the Canarian Institute of Hemodonation and
Hemotherapy

Trabajo Fin de Grado
Grado en Matemáticas
La Laguna, Junio de 2018

DIRIGIDO POR

Juan José Salazar González

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

Agradecimientos

En primer lugar, dar las gracias al Dr. D. Juan José Salazar González, tutor y coordinador de este trabajo, el cual me ha ayudado a la elaboración y construcción de este proyecto.

Agradecer también a mi familia por su apoyo incondicional en todo este tiempo y en especial a mis padres.

A mis amigos por sacarme de la rutina y darme ánimos para salir adelante, regalándome grandes momentos y consejos que nunca olvidaré.

A mi pareja, que siempre ha estado ahí cuando la necesito, dispuesta a ayudarme y mostrándome su apoyo en todo momento.

A Amador Martín Recio, Director técnico del Instituto Canario de Hemodonación y Hemoterapia (ICHH), a Bianca Estefanía Kennedy Giménez, por su ayuda a la hora de recopilar los datos, y al personal del ICHH por las facilidades que me han dado con su ayuda y los conocimientos necesarios para poder afrontar este problema.

Resumen · Abstract

Resumen

El diseño, organización y posterior gestión de la cadena de suministro de sangre y productos sanguíneos en los centros que conforman una red transfusional conllevan implicaciones que afectan tanto al ámbito sanitario, como al social, político y económico, dado que, tanto su escasez como su deterioro pueden ocasionar, entre otras cosas, elevadas tasas de mortalidad.

Un aspecto distintivo de la red de suministro de sangre a los hospitales, ya sean públicos o privados, radica en que, los proveedores de la cadena son donantes voluntarios, por lo general escasos y, además, deben respetar un tiempo mínimo entre donaciones. Ello implica que la disponibilidad de estos sea irregular, y esté sujeta a una gran incertidumbre, por lo que el incremento o mantenimiento de un mínimo constante de donantes es siempre un objetivo prioritario de las administraciones sanitarias, pues la sangre y sus componentes son los recursos biológicos de mayor importancia en la prestación de servicios de las instituciones sanitarias.

Dentro de los componentes sanguíneos se encuentran las plaquetas, que juegan un papel primordial en la coagulación de la sangre y en las cuales se ha basado el presente trabajo, teniendo en cuenta que su vida útil es muy corta y su obtención muy complicada, así como costosa.

En respuesta, se ha planteado la utilización de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la producción de plaquetas, basada en un modelo matemático de optimización complementado con estimaciones de disponibilidad y demanda futura, permitiendo evaluar los niveles de inventario, con la finalidad de evitar producir en exceso o una escasez del producto, ayudando a mejorar su uso racional y, por tanto, abaratar los gastos sujetos a este servicio.

Palabras clave: *ICHH – Sangre – Plaquetas – Optimización – Programación – Pool.*

Abstract

The design, organization and later on the management of the chain of blood supply and products to the centers that conform a transfusional network, lead to implications that affect the sanitary, social, political and economic areas, given that the shortage and deterioration might cause, among other things, high mortality rates.

A distinctive aspect of the blood supply network to hospitals, whether it is state or private, is that the chain's providers which are voluntary donors, are usually scarce and, in addition, they must respect a minimum time between donations. This implies that their availability is irregular, and is subject to great uncertainty, so that the increase or maintenance of a constant minimum of donors is always a objective priority of the health administrations, since the blood and it is components are the biological resources of the greatest importance in the provision of services by health institutions.

Within the blood components we find the platelets, which play a main role in the blood coagulation and on which the present essay has been based. We must take into account that its useful life is very short and its obtainment is very complicated, as well as costly.

In response, the use of a decision support tool in the production of platelets has been proposed, based on a mathematical model of optimization supplemented with estimates of availability and future demand, allowing the evaluation of inventory levels, with the aim of to avoid producing platelets in excess or a shortage of the product, helping to improve its rational use and, therefore, to lower the expenses subject to this service.

Keywords: *CIIH – Blood – Platelets – Optimization – Programming – Pool.*

Contenido

Agradecimientos	III
Resumen/Abstract	V
Prólogo	IX
1. La sangre y su obtención	1
1.1. El Instituto Canario de Hemodonación y Hemoterapia (ICHH)...	1
1.2. Donación de sangre total y donación por aféresis	2
1.2.1. Donación de sangre total	3
1.2.2. Donación por aféresis	3
1.3. El funcionamiento de los laboratorios del ICHH.....	3
2. El problema matemático	5
2.1. Restricciones del problema.....	5
2.2. Constantes	6
2.3. Variables	6
2.4. Restricciones del modelo	6
2.5. Modelo matemático.....	7
3. El programa informático	9
3.1. Herramientas utilizadas	9
3.2. Hojas y funcionamiento de los distintos botones	10
3.2.1. Hojas	10
3.2.2. Funcionamiento de los botones	12
3.3. Cálculo para las estimaciones	13
3.4. Implementación del modelo	15
3.5. Resultados.....	17

4. Conclusión	19
Apéndice	21
Bibliografía	38
Poster	41

Prólogo

Una de las cuestiones más preocupantes para las empresas que trabajan con productos perecederos es que no se logre consumir toda la producción en los intervalos de tiempo prefijados y se deban desechar. Este problema también se le plantea al *Instituto Canario de Hemodonación y Hemoterapia* (ICHH) que, al trabajar con varios derivados sanguíneos, con una caducidad concreta, se ha de tener en cuenta las cantidades a producir de cada una de ellas.

Dentro de los derivados sanguíneos encontramos las plaquetas, un producto con una vida útil de 7 días, de ahí la importancia de optimizar su uso en ese periodo de tiempo ya que, su producción es escasa y costosa. El objetivo central de este trabajo es la resolución de este problema.

Para una mejor comprensión se ha dividido en 4 capítulos y un apéndice para tener en cuenta el código utilizado:

- El capítulo 1 hace referencia a la importancia que tienen las donaciones, el funcionamiento del ICHH y las distintas maneras de obtener las plaquetas.
- El capítulo 2 explica las circunstancias que se presentan y la posterior aplicación del modelo matemático.
- El capítulo 3 describe el programa Excel que hemos diseñado e implementado para dar solución al problema matemático.
- El capítulo 4 expone unas conclusiones finales.

La sangre y su obtención

1.1. El Instituto Canario de Hemodonación y Hemoterapia (ICHH).

La sangre es un bien escaso, de vida muy corta y que no puede ser creado, por lo que la única forma de obtenerla es mediante la donación. Es por esto que se realizan numerosas campañas cuyo objetivo es incrementar el número de donantes a través de la concienciación de la ciudadanía.

El ICHH, además de realizar las distintas campañas de donación y captación de nuevos donantes, también prevé las posibles demandas de sangre o componentes sanguíneos, organiza la producción de hemoderivados¹, procesa y obtiene los componentes de la sangre, coordina la *Red Transfusional Canaria* (RTC), entre otras.

Dentro del ICHH se encuentra el *Centro Canario de Transfusión* (CCT), donde se realizan las siguientes funciones: “extracción, procesamiento, análisis, almacenamiento y distribución de todas las unidades de sangre y aféresis² que se obtienen en cualquier punto de extracción de la Comunidad Autónoma”.^[4]

En el siguiente diagrama se resume el proceso productivo de los componentes sanguíneos, utilizado por el CCT.

¹ Hemoderivado: Proteínas extraídas de la sangre que se usan como fármacos.

² Aféresis: Tipo de donación de sangre que consiste en un procedimiento de separación y selección de los componentes sanguíneos, devolviendo el resto al donante.^[4]

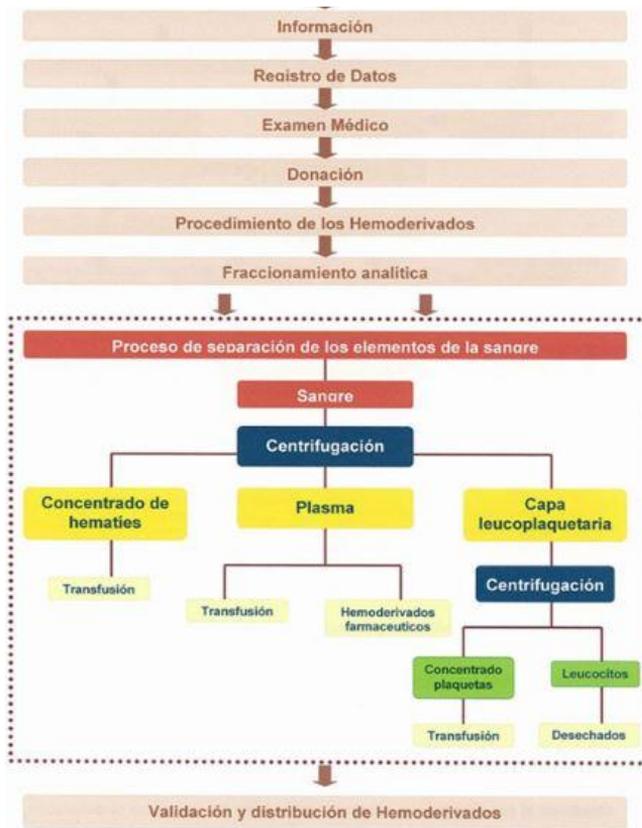


Figura 1.1. Diagrama de procesos.[4]

1.2. Donación de sangre total y donación por aféresis

La sangre está formada por dos componentes: el plasma y las células sanguíneas (glóbulos rojos o hematíes, glóbulos blancos o leucocitos y plaquetas o trombocitos).

Las plaquetas o trombocitos son las que se tomaron como referencia para este trabajo, definiéndose como las células sanguíneas más pequeñas, estas intervienen cuando se produce una rotura de la pared de los vasos sanguíneos, adhiriéndose rápidamente al sitio en el que hay que parar la hemorragia.[4]

Existen dos tipos de donaciones, obteniéndose de cada una de ellas distintos componentes sanguíneos. A continuación se procede a su explicación más detallada.

1.2.1. Donación de sangre total

La donación de *sangre completa* o *sangre total* es la extracción de bolsas de sangre con todos sus componentes, estas se pueden realizar tanto en centros hospitalarios como en las unidades móviles.

Mediante un proceso de centrifugación en laboratorio se pueden obtener 3 bolsas de concentrados de elementos específicos: hematíes, plasma y plaquetas.[4]

1.2.2. Donación por aféresis

En este caso son ejecutadas en hospitales o centros sanitarios especializados ya que es necesario el uso de separadores celulares. Su funcionamiento consiste en extraer la sangre y separar inmediatamente los componentes deseados, devolviendo el resto de sangre al donante. De esta donación se obtiene plasma, plaquetas y glóbulos rojos.

La principal ventaja de este tipo de donación es la obtención de una bolsa de plaquetas pues, solo se ha de realizar una extracción, mientras que, para obtenerla por donación de sangre total se necesitan entre 4 y 6 donaciones. A esta última se les denomina *pool*³. [1, 3, 4]

1.3. El funcionamiento de los laboratorios del ICHH.

Cada una de las dos sedes del ICHH cuentan a su vez con dos laboratorios. En el primer laboratorio la sangre es sometida, por seguridad, a un exhaustivo protocolo analítico. Desde que haya un resultado no deseado se desechará la totalidad de la sangre relacionada con éste, estos casos son, por ejemplo, cuando se encuentran enfermedades como el VIH, Hepatitis B y C, entre otras.

Después de este riguroso examen, parte de las bolsas de sangre pasan a un segundo laboratorio, donde se obtienen los distintos componentes de la sangre, mediante máquinas de centrifugado, obteniéndose tres derivados:

1. Concentrado de hematíes (CH).
2. Plasma.
3. Plaquetas.

³ Pool: Bolsa de un derivado sanguíneo generada a partir de distintas unidades de sangre total. En este caso hablaremos de pool o pool de plaquetas a las bolsas de plaquetas generadas a partir de distintas unidades de sangre total.[1]

Aunque lo ideal sería que cada *pool de plaquetas* perteneciera a un solo donante, lo más común es que, para la elaboración de un *pool* se utilicen, como mínimo, 4 extracciones de sangre de personas diferentes. Estas han de tener, en la medida de lo posible, el mismo grupo sanguíneo, en caso contrario se intenta que sean grupos sanguíneos compatibles, esto se hace para evitar el rechazo a la transfusión.

Como se muestra en la Figura 1.1, las bolsas de sangre se pasan dos veces por una máquina centrifugadora. En la primera se consigue la *capa leucoplaquetaria* (plaquetas + leucocitos) y, en la segunda, se logra la separación total de las plaquetas, desechando los leucocitos. [1, 4]

La obtención de un *pool de plaquetas* por donación de sangre total es muy complicada ya que, se estima que aproximadamente el 20% de las bolsas de sangre serán rechazadas, por no ser aptas y, teniendo en cuenta que para un *pool* se necesitan 4 donaciones, surge la siguiente estimación.

$$Pools\ totales = (Donaciones\ totales * 0,8) / 4$$

Este problema no se muestra en las donaciones por *aferésis* ya que el análisis de sangre se lleva a cabo antes de la extracción, por tanto, todas las bolsas de plaquetas son aptas y válidas para su uso.

El problema matemático

Todos los días, el ICHH recibe unidades de sangre provenientes de las distintas donaciones realizadas, tanto en hospitales como en unidades móviles, las cuales han de pasar por un exhaustivo protocolo analítico para verificar que son aptas.

Por otro lado, la demanda diaria se tendrá que satisfacer con la producción de los 7 días anteriores, con el inconveniente añadido de no ser conocida en todos los casos, por lo que, muchas veces son estimaciones. Por ello el personal encargado tendrá que tomar una decisión inmediata de cuantos *pools* fabricar para empezar con el proceso de producción, teniendo en cuenta la posibilidad de una sobre producción innecesaria de *pools*, que quedarían sin un uso sanitario ya que, estas nuevas unidades se agregan al *stock*, si lo hubiera, de los 6 días anteriores para solventar la demanda del siguiente día.

Para la resolución de este problema, se ha usado un modelo matemático basado en la optimización combinatoria.

2.1. Restricciones del problema

Se tomará un horizonte de n días, en los cuales se producen y se consumen *pools de plaquetas*. Estos tienen una vida útil de m días, siendo desechadas a partir del $m + 1$. Conociendo esto, se plantean las siguientes restricciones a tener en cuenta:[6]

- La no utilización de un *pool*, porque ha expirado su vida útil, ocasiona un gasto económico, además de suponer la pérdida de un bien muy escaso.

- Existen casos excepcionales en los que no se logra producir la cantidad de *pools* demandada, por lo que hay que recurrir al ICHH de Gran Canaria para que proporcione los *pools* necesarios, ocasionando un costo adicional.
- La demanda ha de ser satisfecha por los *pools* producidos días anteriores.
- No se puede fabricar más de lo ofertado por las donaciones.

2.2. Constantes

n = número de días en el horizonte a estudiar.

m = número de días que tarda en caducar cada *pool*.

q_i = cota máxima de producción del día i -ésimo con $i = 1, \dots, n$.

d_i = demanda del día i -ésimo con $i = 1, \dots, n$.

2.3. Variables

x_i = cantidad que se ha decidido producir el día i con $i = 1, \dots, n$.

$y_{i,j}$ = cantidad de producto producido el día i , consumiéndose el día $i + j$ con $i = 1, \dots, n$ y $j = 1, \dots, m$.

z_i = pedidos extra a Gran Canaria el día i con $i = 1, \dots, n$.

2.4. Restricciones del modelo

$$\text{Min } \alpha \left(\sum_{i=1}^n (x_i - \sum_{j=i}^m y_{i,j}) \right) + \beta \left(\sum_{i=1}^n z_i \right)$$

Esta es la función objetivo, la cual minimiza el costo ocasionado, teniendo en cuenta los *pools* que se destruyen y los pedidos extras que se realizan, con un costo α y β respectivamente.

$$\sum_{j=1}^m (y_{i-j,j} + z_i) = d_i \text{ con } i = 1, \dots, n$$

La demanda del día i se ha de satisfacer con lo producido anteriormente y con los pedidos extras, en el caso que sean necesarios.

$$x_i \geq \sum_{j=1}^m y_{i,j} \text{ con } i = 1, \dots, n$$

La cantidad $y_{i,j}$ que se consume a lo largo de los m días, no ha de superar la cantidad producida en la tanda x_i .

- $q_i \geq x_i$ con $i = 1, \dots, n$

La producción viene condicionada con la cantidad de material que entre en el laboratorio diariamente.

- Todas las variables han de ser enteras y positivas ya que, no se pueden consumir ni producir mitad de producto o producir una cantidad negativa.

2.5. Modelo matemático

$$\text{Min } \alpha \left(\sum_{i=1}^n (x_i - \sum_{j=i}^m y_{i,j}) \right) + \beta \left(\sum_{i=1}^n z_i \right)$$

sa

$$\sum_{j=1}^m (y_{i-j,j} + z_i) = d_i \text{ con } i = 1, \dots, n$$

$$x_i \geq \sum_{j=1}^m y_{i,j} \text{ con } i = 1, \dots, n$$

$$q_i \geq x_i \text{ con } i = 1, \dots, n$$

$$x_i, z_i \text{ son enteros y positivos con } i = 1, \dots, n$$

$$y_{i,j} \text{ entero y positivo con } i = 1, \dots, n \text{ y } j = 1, \dots, m$$

El programa informático

A la hora de elaborar el programa, se tomó como objetivo calcular unas estimaciones futuras para implementar el modelo, logrando así, una serie de parámetros que permitirían dar una solución óptima en un corto periodo de tiempo, tanto de las cantidades de *pools* que se tienen que producir hoy como de los 6 días venideros. Otro de los propósitos fue tener un seguimiento diario de las cantidades de *pools* disponibles, así como, la demanda y pedidos extra que pudieran surgir, consiguiendo de esta forma una base de datos centrada en la producción de plaquetas.

3.1. Herramientas utilizadas

Se ha realizado en Excel, ya que es la aplicación usada en el ICHH, la cual, además de realizar operaciones en las distintas hojas de cálculos, introducir operaciones matemáticas para resolver un problema, representar gráficamente los valores calculados, etc, también cuenta con otros complementos más específicos, entre los que se encuentran Solver y Visual Basic, que han sido la base de este programa.[2, 5]

Solver: Este complemento fue impartido en la asignatura de Optimización con el fin de comprobar los resultados de problemas de manera más rápida y precisa. En este caso, el objetivo ha sido implementar un modelo matemático y así, poder dar un resultado mínimo de desecho.

Visual Basic: A la hora de hacer tareas y rutinas más complejas, las herramientas ofrecidas por Excel son insuficientes o simplemente no pueden realizar tantos cálculos simultáneamente. Es por ello que se ha utilizado este lenguaje. Destacar que es parecido al C++ -impartido en la asignatura de informática- pero con una serie de objetos propios que ayudan a elegir celdas específicas,

saltar de hojas e incluso copiar datos desde el mismo u otro libro. Esto permite trabajar con una gran cantidad de información y realizar distintos cálculos en un corto periodo de tiempo.

La unión de estas ha permitido realizar un programa totalmente automático en el cual no sea necesario tener un experto en programación para su ejecución.

3.2. Hojas y funcionamiento de los distintos botones

Se ha realizado en una Hoja de Cálculo Excel habilitada para trabajar con macros (.xlsm), esta cuenta con varias hojas, con sus datos específicos y, una serie de botones que ejecutan un código previamente programado.

3.2.1. Hojas

Para guardar los distintos cálculos y datos introducidos se han utilizado las siguientes hojas:

- **Inicio:** Se muestra un resumen diario de la cantidad de *pools* producidos, la demanda, cantidad de sangre total, pedidos extra, así como, las previsiones para los siete días futuros.

Día	Nº de <i>pools</i> producidos	Sangre total	Demanda	Pedido Extra
01/01/2017	0	3	0	
02/01/2017	17	78	14	
03/01/2017	26	76	26	
04/01/2017	30	92	30	
05/01/2017	30	63	41	
06/01/2017	5	1	5	
07/01/2017	12	14	12	
08/01/2017	6	18	6	
09/01/2017	29	112	21	
10/01/2017	20	120	20	
11/01/2017	23	135	20	
12/01/2017	2	138	6	
13/01/2017	29	90	30	
14/01/2017	0	21	0	
15/01/2017	0	15	0	
16/01/2017	16	116	17	
17/01/2017	13	136	12	
18/01/2017	35	134	19	
19/01/2017	3	165	21	
20/01/2017	5	193	25	
21/01/2017	0	48	0	
22/01/2017	6	12	4	
23/01/2017	18	110	20	
24/01/2017	30	113	19	

Figura 3.1. Hoja de Inicio.

- **Datos:** El usuario encargado deberá introducir diariamente el número de *pools* producidos, la demanda, los pedidos extras realizados y la cantidad de sangre que entra al centro. Estos datos han de seguir un orden y una periodicidad diaria ya que, de lo contrario, no se lograría un funcionamiento óptimo del programa.

Día	Nº de pools producidos	Sangre total	Demanda	Pedido extra
domingo, 1 de enero de 2017	0	3	0	0
lunes, 2 de enero de 2017	17	78	14	0
martes, 3 de enero de 2017	26	76	26	0
miércoles, 4 de enero de 2017	30	92	30	0
jueves, 5 de enero de 2017	30	63	41	0
viernes, 6 de enero de 2017	5	1	5	0
sábado, 7 de enero de 2017	12	14	12	0
domingo, 8 de enero de 2017	6	18	6	0
lunes, 9 de enero de 2017	29	112	21	0
martes, 10 de enero de 2017	20	120	20	0
miércoles, 11 de enero de 2017	23	135	20	0
jueves, 12 de enero de 2017	2	138	6	0
viernes, 13 de enero de 2017	29	90	30	0
sábado, 14 de enero de 2017	0	21	0	0
domingo, 15 de enero de 2017	0	15	0	0
lunes, 16 de enero de 2017	16	116	17	0
martes, 17 de enero de 2017	13	156	12	0
miércoles, 18 de enero de 2017	25	124	19	0
jueves, 19 de enero de 2017	2	165	21	0
viernes, 20 de enero de 2017	5	193	26	0
sábado, 21 de enero de 2017	0	48	0	0

2. Fecha de hoy

3. Revisar fechas

4. Calcular variable

5. Volver a Inicio

LEYENDA

La fecha está repetida

La fecha no está ordenada

Figura 3.2. Hoja de Datos.

- **Errores:** Al trabajar con estimaciones, es necesario saber cómo van siendo estas, si se acercan o no a los valores reales y, de esta manera, comprobar que el programa cumple su finalidad.

Día	Demanda estimada	Demanda verdadera	Error estimación	Donación estimada	Donación verdadera	Error
01/01/2017	3	0	3	2	3	-1
02/01/2017	5	14	6	3	78	-75
03/01/2017	2	26	-24	6	76	-70
04/01/2017	5	30	-25	5	92	-87
05/01/2017	6	41	-35	9	63	-54
06/01/2017	5	5	0	4	1	3
07/01/2017	8	12	-4	3	14	-11
08/01/2017	10	6	4	2	18	-16
09/01/2017	9	21	-12	5	112	-107
10/01/2017	6	20	-14	2	120	-118
11/01/2017	9	20	-11	9	135	-126
12/01/2017	8	6	2	8	138	-130
13/01/2017	5	30	-25	5	30	-85
14/01/2017	3	0	3	6	21	-15
15/01/2017	5	0	5	6	15	-9
16/01/2017	18	17	1	98	116	-18
17/01/2017	22	12	10	100	156	-56
18/01/2017	24	19	5	117	134	-17
19/01/2017	21	21	0	97	165	-68
20/01/2017	19	26	-7	35	193	-158
21/01/2017	5	0	5	18	48	-30
22/01/2017	3	4	-1	8	12	8
23/01/2017	16	20	-4	133	110	23
24/01/2017	17	19	-2	146	113	33
25/01/2017	20	15	5	157	134	23
26/01/2017	19	20	-1	146	104	42
27/01/2017	20	35	-15	92	109	-17
28/01/2017	3	0	3	32	28	4
29/01/2017	3	0	3	22	7	15
30/01/2017	18	37	-19	130	118	12
31/01/2017	18	19	-1	141	109	32

Figura 3.3. Hoja de Errores.

- **Medias:** Se incluyen todos los datos necesarios para los cálculos referidos a las estimaciones:
 - Demanda media.
 - Donación media.
 - Porcentajes de la demanda y la donación, teniendo en cuenta el día de la semana.

Semana	Media Donación	Media Demanda	Media Demanda Fin de semana	Día	Media Porcentaje Demanda	Media Porcentaje Donación
1	48,86	19,14	7,67	Lunes	17,36	19,81
2	90,14	13,86	10,00	Martes	16,20	19,35
3	117,71	14,14	10,00	Miércoles	15,99	20,12
4	86,43	15,57	11,67	Jueves	17,32	18,19
5	59,14	17,43	11,67	Viernes	22,60	14,23
6	96,57	22,71	22,00	Sábado	6,45	3,76
7	73,57	17,86	9,00	Domingo	4,08	4,54
8	220,43	17,00	12,33			
9	85,86	13,71	7,67			
10	92,29	15,86	6,67			
11	95,71	16,57	8,00			
12	88,00	15,71	11,00			
13	84,57	17,29	13,67			
14	96,00	18,29	21,67			
15	64,43	15,57	18,33			
16	82,43	16,71	17,33			
17	80,14	13,71	18,33			
18	73,86	18,43	16,67			
19	85,43	12,71	9,67			
20	78,43	15,00	15,00			
21	79,29	12,57	10,33			

Figura 3.4. Hoja de Medias.

- **Solver:** Antes de ejecutar el Solver, es imprescindible la incorporación de todos los parámetros, en sus respectivas celdas, para posteriormente calcular el modelo.

	i=8	i=7	i=6	i=5	i=4	i=3	i=2	Ayer	Hoy	Mañana	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	
d _j	9	23	23	10	28	0	5	22	14	16	14	22	3	3	19	
q _j	19	21	16	21	16	2	1	18	21	21	19	16	4	3	20	
x _j	19	10	16	21	16	0	0	18	21	21	19	0	0	0	0	
y _{j,1}	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	
y _{j,2}	16	0	16	0	0	0	0	16	14	15	0	0	0	0	0	
y _{j,3}	0	10	0	3	16	0	0	7	3	0	0	0	0	0	0	
y _{j,4}	1	0	0	6	0	0	0	0	3	19	0	0	0	0	0	
y _{j,5}	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
y _{j,6}	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
y _{j,7}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
y _{j,j}	19	10	16	21	16	0	0	18	21	21	19	0	0	0	0	
x _j - y _{j,j}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
								y _{j,j,j}	22	14	16	14	22	3	3	19
								z _j	0	0	0	0	0	0	0	0
								y _j - j _j + z _j	22	14	16	14	22	3	3	19
								Min								
								0								

Figura 3.5. Hoja del Solver.

3.2.2. Funcionamiento de los botones

En lo referido al funcionamiento del programa, se sabe que, no todo el mundo está familiarizado con los lenguajes de programación. Al analizar las distintas formas que tiene el Excel para ejecutar las macros o rutinas, se ha decidido utilizar una serie de botones que ejecutan distintas partes del código. Para facilitar la labor al usuario, se le han añadido un título con un número para que, además de lograr un orden, también tenga una idea de las tareas que realizan.

A continuación, se detalla el funcionamiento de cada uno de ellos:

- **1. Ir a Inicio:** Este botón se encuentra en la primera hoja y es utilizado para pasar a la hoja de Datos.
- **2. Fecha de hoy:** A la hora de introducir los datos, se ha de tener en cuenta si se están introduciendo en las celdas correctas y si el día que introduce el usuario sigue el orden. En caso de error con la fecha introducida, una ventana emergente indicará que la fecha no es correcta y se le pedirá que introduzca otra.
- **3. Revisar fechas:** Puede que se cometan errores cuando se introducen las fechas directamente, saltándose el botón 2. Por ello es necesario comprobar que las fechas no estén repetidas o no sigan el orden. Si se encuentra algún error, se informará y se resaltarán las fechas incorrectas. Después de esto, el usuario debe corregirlos manualmente, teniendo en cuenta el color con el que están marcadas, para saber su significado se ha impuesto una leyenda. Cuando se hayan corregido se debe volver a dar al botón para verificarlo.
- Como se ha visto en la Figura 3.2, se ha puesto un paso intermedio a tener en cuenta. Cabe la posibilidad de introducir los valores a medida que se vayan conociendo, por lo que, para que la actualización de datos en el Solver sea eficaz, se han de introducir todos antes de pasar a un nuevo día.
- **4. Calcular Variable:** Con los valores introducidos, el programa comienza a calcular y realizar las siguientes acciones:
 - **Estimaciones:** Se explicará con más detalle en el siguiente apartado.
 - **Copiar los distintos valores calculados en las hojas específicas:** A la hora de realizar los cálculos, es necesario tener los valores guardados, no solo para tener un resumen sino también para que el programa pueda obtener los datos de una forma más eficaz.
 - **Solver:** Para introducir las restricciones del modelo, se ha realizado un Solver el cual fue grabado (copiar una rutina) previamente en macros para luego ejecutarlo en este botón. Hay que señalar que al grabar aparece el código utilizado.
- **5. Volver a Inicio:** Para finalizar, es necesario volver a inicio y así ver qué decisión ha tomado el Solver. En este caso nos dirige directamente a las 7 celdas futuras, contando la de hoy, estando a su vez resaltadas en verde para una mejor comprensión.

3.3. Cálculo para las estimaciones

Como bien se ha comentado anteriormente, tanto la demanda como las donaciones no siguen un patrón, por lo que es muy difícil saber con certeza cuánto se tendrá mañana. No obstante, no significa que no se pueda realizar una estimación que se intente acercar a los valores reales.

La estimación se ha realizado teniendo en cuenta dos semanas, ya que, al hacerla por meses el margen de error puede ser mayor y esto repercute a la hora de calcular la producción semanal. En cambio, si solo se tiene en cuenta una semana, se obtendrían valores constantes, cuando no lo son, ya que de una semana a otra no se consumirá, ni se donará, exactamente la misma cantidad.

La facilidad de tomar como referencia dos semanas anteriores es que se van actualizando y se tienen en cuenta los picos de donaciones o de demanda. Con estas se realiza una media, consiguiendo un total estimado para la tercera semana.

Además de las semanas, los días también experimentan variaciones. Para ello se ha realizado un porcentaje diario respecto al total semanal real. A medida que se introducen más días, más exacto es, ya que, estos porcentajes hacen media con todos los porcentajes tomados, afectando uno sobre otro, semana tras semana.

Se han sacado las siguientes conclusiones:

- Los días de mayor donación se concentran a principio de semana.
- En cuanto a la demanda de los hospitales, va aumentando a lo largo de la semana para solventar las necesidades del fin de semana, siendo esta cero o mínima.

Al introducir los valores, se han comprobado los siguientes errores a la hora de considerar las estimaciones:

- Hay días que no hay donaciones o experimentan picos inusuales.
- Al igual que en las donaciones, la demanda también experimenta comportamientos similares.

Cabe destacar que, a medida que se iban introduciendo más datos, tanto las demandas como las donaciones estimadas se iban acercando más a los valores reales. Se ve reflejado en la Figura 3.6 y en la Figura 3.7, donde se puede comprobar visualmente los datos ofrecidos en la hoja Errores.



Figura 3.6. Estimación de la demanda.



Figura 3.7. Estimación de las donaciones.

3.4. Implementación del modelo

Se ha tenido como referencia una muestra de 15 días, el motivo ha sido tener las producciones de los 8 días anteriores y así, considerarlo para las producciones de los siete días venideros, tomando el día actual como una variable más.

Estos valores se van actualizando cada día al introducir nuevos datos, esta acción es muy importante ya que, es necesario saber el *stock* disponible para no producir en exceso, justamente lo que se quiere prevenir.

A continuación, se detalla cómo se han organizado las constantes, las variables y el modelo a partir de la hoja Solver, como se ha explicado anteriormente es aquí donde se introducen y obtienen los datos del modelo.

La tabla se ha dividido en colores, diferenciando a su vez el periodo de tiempo en el que se encuentran, pasado o presente y futuro. Se han tomado los siguientes valores constantes:

- $n = 7$: El espacio muestral tiene un horizonte de 7 días, la vida útil de los *pools*, tomando el día actual como un $i = 0$. Además, se han tomado 8 días pasados con sus respectivos datos, estos son conocidos y afectarán a las decisiones futuras.
- $m = 7$: Se sabe de antemano que los *pools* tienen una vida útil de 7 días desde que se produce.
- d_i : La demanda futura se estima y la pasada se verifica, esto es así porque, al trabajar con estimaciones, siempre puede haber fallos. Es por ello que los datos reales y las estimaciones se contrastan, dando preferencia al dato real a la hora de guardarlo.
- q_i : Para calcular la cota de producción, se ha tomado la fórmula comentada anteriormente ($Pooles\ totales = (Donaciones\ totales * 0,8) / 4$), consiguiendo así el total de *pools* que se podrían obtener hoy. Al igual que la demanda, esta también es estimada y sigue el mismo procedimiento con los datos reales.

Las variables se han distribuido de la siguiente manera:

- x_i : Se ha reservado una fila para los valores que toma en los días i .
- $y_{i,j}$: En las columnas están las plaquetas que se consumen en los días j .
- z_i : Los pedidos extras, al suponer que se consumen el mismo día que se demandan, seguirán las indicaciones del Solver.

Para implementar el modelo se han introducido las siguientes filas para poder calcular los resultados en Solver:

- Al final de cada columna aparece la suma de los $y_{i,j}$, estas han de ser menor o igual a x_i .
- Para solventar la demanda del día i se recogen los valores $y_{i-j,j} + z_i$, calculando esta suma con las columnas correspondientes.
- Por último se encuentra la celda objetivo. Aquí se ha supuesto que por cada *pool* que se desecha acarrea un costo de $\alpha = 10$ y cada pedido extra supone $\beta = 100$.

Al tener los datos ordenados, se procederá a introducir las restricciones del modelo en la ventana Solver. Para calcular los resultados se ha elegido la opción Simplex LP, método Simplex para programación lineal.

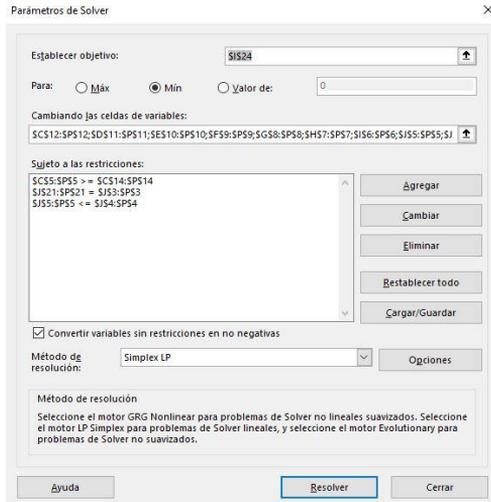


Figura 3.8. Representación del modelo en Solver.

3.5. Resultados

Para comprobar el comportamiento que tiene el programa se han introducidos los datos proporcionados por Bianca Estefanía Kennedy Giménez, los cuales ha recopilado a lo largo de sus prácticas con las distintas bases de datos que le proporcionó el ICHH, entre ellos se encuentran las demandas diarias, producciones y pedidos extras del año 2017.

Primero se ha introducido un mes con todos los datos reales, ignorando los datos proporcionados por el programa. Al ejecutarlo con estos datos, se vio un *sobrestock* ya que, los *pools* no se lograban consumir en su totalidad o el programa decidía no consumirlos hasta el día previo a su caducidad.

Pasada esta parte, se introdujeron 161 datos reales, de la demanda y las donaciones, dejando que el Solver decidiera la producción, a excepción de los días que no hubo. Tras 6 meses introducidos se mostraron los siguientes resultados:

- En el mes de febrero fue necesario pedir 15 *pools* a Gran Canaria.
- Las estimaciones mostraron errores en los fines de semana ya que, no siempre había una producción. Esto causó un desecho de 17 *pools* en marzo y 3 en junio ya que, el Solver fabricó a lo largo de la semana para abastecer esa posible demanda.
- Otro desecho se causó por un descenso inesperado de demanda a finales de junio, generando 15 *pools* descartados.
- Al trabajar con sangre, y esta ser tan escasa, la producción era, en la mayoría de los casos, igual a la cota máxima estimada.
- Tras estos datos, el Solver decidía utilizar los *pools* con más margen de caducidad, al contrario del primer mes.

Por otra parte, si se tienen en cuenta los datos proporcionados en la hoja Solver, se puede tener un control tanto de lo que hay en el almacén como la vida útil que le quedan a los diferentes *pools*.

Conclusión

Ha sido un trabajo muy complejo en el cual se refleja la importancia de las matemáticas y la informática en todos los campos de la ciencia e incluso de la vida cotidiana así como la relevancia que tienen los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, permitiendo la resolución de problemas específicos.

En este caso, se presentó un problema del ICHH, optimizar la producción de plaquetas con el objetivo de aprovechar la escasa vida de éstas, minimizando los desechos que se pudieran ocasionar.

Se elaboró un programa informático que tuvo en cuenta las donaciones y las demandas ofrecidas por el centro, para luego dar una respuesta oportuna y óptima de la cantidad de *pools* que se deben producir.

Para su resolución, se han contado con datos específicos, importantes a la hora de comprobar el funcionamiento y veracidad de los resultados obtenidos en las estimaciones. Estos resultados han concluido ser, en la mayoría de los casos, cercanos o incluso iguales, logrando predecir tanto la demanda y como las donaciones necesarias.

En los que respecta a la producción, se ha realizado acorde a las demandas reales y estimadas, en la mayoría de los casos no se ha producido desecho pero, al no tener en cuenta festividades y las decisiones que fueron tomadas en ese momento por el personal encargado, se han generado desechos en 5 ocasiones, tanto fines de semana como entre semana. Además, en el mes de febrero, ya sea por la insuficiencia de sangre o por fallos en las estimaciones, el Solver decidió realizar dos pedidos extras a Gran Canaria, siendo a su vez los únicos. Para que se tenga un funcionamiento más cercano a la realidad debería estar acompañado de profesionales para verificar las decisiones ofrecidas ya que, en todos los casos

no es posible realizar lo propuesto.

Cabe destacar que, al utilizar la fórmula de estimación de *pools* totales, proporcionada por el ICHH, no se logra tener en cuenta lo que sucede en realidad, es decir, en algunos casos pueden haber más bolsas de sangre total aptas, o menos, repercutiendo así a la cota de producción. Una solución a esto sería introducir un paso intermedio, el cual tenga en cuenta las bolsas que han pasado o no por el examen analítico, teniendo en un caso una estimación usando la fórmula y en el otro el valor exacto de bolsas.

En lo referido a la demanda, se ha tomado como referencia la suma de todos los hospitales pero, si se desea llevar un control más exhaustivo, se ha de tener en cuenta la estimación de demandas de cada centro para así preparar con antelación los envíos.

Apéndice

Tal y como se ha nombrado anteriormente los botones han sido programados en Visual Basic, la programación de los mismos se aportará en estos apéndices.

1.Ir a Inicio

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
    Sheets("Datos").Select  
End Sub
```

2.Fecha de hoy

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
Dim Fecha As Date  
Dim j As Long  
Dim i As Long  
Dim FechaRepetida As Date  
Dim Contador As Long
```

```
'Se muestra una ventana para introducir la fecha de hoy.  
Fecha = InputBox("Ponga el día en el que estamos", "dd/mm/aaaa")  
Range("A1").End(xlDown).Offset(1, 0).Select  
ActiveCell.Offset(0, 0) = Fecha  
Final = Range("A2").End(xlDown).Row
```

```
'La fecha introducida ha de seguir el orden.  
For j = 1 To Final
```

```

For i = j + 1 To Final

'Corroborar que la fecha no este repetida o que no siga el orden.
If Cells(j, 1).Value = Cells(i, 1).Value And j = Final - 1 Then
FechaRepetida = Cells(i, 1).Value
Fecha = InputBox("Cambie la fecha " & FechaRepetida,
"La última fecha está repetida, por favor introduzca otra", -
"dd/mm/aaaa")

Range("A1").End(xlDown).Offset(0, 0).Select
ActiveCell.Offset(0, 0) = Fecha

ElseIf Cells(j, 1).Value = Cells(i, 1).Value Then
Contador = Contador + 1

ElseIf Cells(Final, 1).Value <> Cells(Final - 1, 1).Value + 1 Then

Fecha = InputBox("Cambie la fecha ", -
"La última fecha no sigue el orden, por favor introduzca otra", -
"dd/mm/aaaa")

Range("A1").End(xlDown).Offset(0, 0).Select
ActiveCell.Offset(0, 0) = Fecha

End If
Next
Next
If Contador > 1 Then

Fecha = InputBox("Por favor, cambie la fecha",-
"La última fecha ya se encuentra en la base de datos.",-
"dd/mm/aaaa")

Range("A1").End(xlDown).Offset(0, 0).Select
ActiveCell.Offset(0, 0) = Fecha

End If

End Sub

3.Revisar fechas

Private Sub CommandButton4_Click()

```

```

Dim Final As Long
Dim Fila As Long
Dim FechasRepetidas As Integer
Dim Ordenfecha As Integer

Final = Range("A2").End(xlDown).Row
posicion = Range("A2").End(xlDown).Row

'Se comprueban que todas las fechas tienen orden y no están repetidas.
For Fila = 2 To Final

If WorksheetFunction.CountIf(Range("A2:A" & Final), _
Range("A" & Fila)) > 1 Then

FechasRepetidas = FechasRepetidas + 1
Range("A" & Fila).Interior.color = RGB(255, 255, 0)

End If

If Cells(2, 1).Value + (Fila - 1) <> Cells(Fila + 1, 1).Value _
And Fila + 1 <= Final Then

Ordenfecha = Ordenfecha + 1
Cells(Fila + 1, 1).Interior.color = RGB(0, 255, 0)

End If

Next Fila

If FechasRepetidas >= 1 Or Ordenfecha >= 1 Then
MsgBox ("Ha de revisar las fechas resaltadas. Gracias")
Else

For Fila = 1 To Final

If (Cells(Fila, 1).Interior.color = RGB(255, 255, 0) Or _
Cells(Fila, 1).Interior.color = RGB(0, 255, 0)) Then

Cells(Fila, 1).Interior.ColorIndex = RGB(0, 0, 0)
End If

Next Fila

```

```
MsgBox ("Todas las fechas son correctas.")
End If
```

```
End Sub
```

4. Calcular Variable

```
Private Sub CommandButton2_Click()
```

```
Dim DiaSemana As Integer
Dim PosicionLunes As Long
Dim PosicionDomingo As Long
Dim NumeroSemana As Long
Dim p As Integer
Dim s As Integer
```

```
Dim MediaDonacion(51) As Single
Dim MediaDemandaTotal(51) As Single
Dim MediaDemandaFinde(51) As Single
Dim MediaErrores(51) As Single
Dim MediaErroresFinde(51) As Single
```

```
Dim TotalDemanda(51) As Single
Dim PorcentajeDemandaLunes(51) As Single
Dim PorcentajeDemandaMartes(51) As Single
Dim PorcentajeDemandaMiercoles(51) As Single
Dim PorcentajeDemandaJueves(51) As Single
Dim PorcentajeDemandaViernes(51) As Single
Dim PorcentajeDemandaSabado(51) As Single
Dim PorcentajeDemandaDomingo(51) As Single
```

```
Dim TotalDonacion(51) As Single
Dim PorcentajeDonacionLunes(51) As Single
Dim PorcentajeDonacionMartes(51) As Single
Dim PorcentajeDonacionMiercoles(51) As Single
Dim PorcentajeDonacionJueves(51) As Single
Dim PorcentajeDonacionViernes(51) As Single
Dim PorcentajeDonacionSabado(51) As Single
Dim PorcentajeDonacionDomingo(51) As Single
```

```
Dim DemandaEstimada As Long
Dim DonacionEstimada As Long
```

```

PosicionLunes = 2
DiaSemana = 0
PosicionDomingo = 0
NumeroSemana = 0
s = -1

'Posicion del última valor introducido.
Final = Range("A2").End(xlDown).Row

'Primer Lunes introducido.
While Not (Weekday(Cells(PosicionLunes, 1)) = 2 And DiaSemana = 1)
PosicionLunes = PosicionLunes + 1
If Weekday(Cells(PosicionLunes, 1)) = 2 Then
DiaSemana = DiaSemana + 1
ActiveSheet.Range("j3") = PosicionLunes
End If
Wend

'Último domingo introducido.
For d = Final To Final - 6 Step -1
If Weekday(Cells(d, 1)) = 1 Then
PosicionDomingo = d
End If
Next

'Número de semanas enteras (de lunes a domingo)
NumeroSemana = (PosicionDomingo - PosicionLunes + 1) / 7

'Se calculan las distintas medias por semana, -
guardandolas en la hoja Medias
If NumeroSemana > 1 Then
For l = PosicionLunes To PosicionDomingo Step 7
s = s + 1
For j = 1 To l + 6
MediaDonacion(s) = ((Cells(j, 3).Value) / 7) + MediaDonacion(s)
MediaDemandaTotal(s) = ((Cells(j, 4).Value) / 7) + MediaDemandaTotal(s)

TotalDemanda(s) = Cells(j, 4).Value + TotalDemanda(s)
TotalDonacion(s) = Cells(j, 3).Value + TotalDonacion(s)

```

```
If Weekday(Cells(j, 1)) = 6 Or Weekday(Cells(j, 1)) = 7 Or_
    Weekday(Cells(j, 1)) = 1 Then
```

```
MediaDemandaFinde(s) = ((Cells(j, 4).Value) / 3) +_
    MediaDemandaFinde(s)
```

```
End If
```

```
With Worksheets("Errores")
```

```
MediaErrores(s) = Abs(((Cells(j, 4).Value)) / 7) + MediaErrores(s)
```

```
If Weekday(Cells(j, 1)) = 6 Or_
```

```
    Weekday(Cells(j, 1)) = 7 Or Weekday(Cells(j, 1)) = 1 Then
```

```
MediaErroresFinde(s) = Abs(((Cells(j, 4).Value) / 3)) +_
    MediaErroresFinde(s)
```

```
End If
```

```
End With
```

```
Next j
```

```
With Worksheets("Medias")
```

```
.Cells(s + 2, 1) = s + 1
```

```
.Cells(s + 2, 2) = MediaDonacion(s)
```

```
.Cells(s + 2, 3) = MediaDemandaTotal(s)
```

```
.Cells(s + 2, 4) = MediaDemandaFinde(s)
```

```
End With
```

```
Next
```

```
'Se exige un mínimo de dos semanas para empezar a calcular.
```

```
Else
```

```
MsgBox ("No hay parametros suficientes para calcular la demanda.")
```

```
End If
```

```
'Demanda por día, para luego calcular el porcentaje de estos.
```

```
p = -1
```

```
For l = PosicionLunes To PosicionDomingo Step 7
```

```
p = p + 1
```

```
For j = 1 To l + 6
```

```
If Weekday(Cells(j, 1)) = 2 Then
```

```
PorcentajeDemandaLunes(p) = (100 * (Cells(j, 4).Value) /_
    (TotalDemanda(p)))
```

```
PorcentajeDonacionLunes(p) = (100 * (Cells(j, 3).Value) /_
    (TotalDonacion(p)))
```

ElseIf Weekday(Cells(j, 1)) = 3 Then

PorcentajeDemandaMartes(p) = (100 * (Cells(j, 4).Value) /
(TotalDemanda(p)))

PorcentajeDonacionMartes(p) = (100 * (Cells(j, 3).Value) /
(TotalDonacion(p)))

ElseIf Weekday(Cells(j, 1)) = 4 Then

PorcentajeDemandaMiercoles(p) = (100 * (Cells(j, 4).Value) /
(TotalDemanda(p)))

PorcentajeDonacionMiercoles(p) = (100 * (Cells(j, 3).Value) /
(TotalDonacion(p)))

ElseIf Weekday(Cells(j, 1)) = 5 Then

PorcentajeDemandaJueves(p) = (100 * (Cells(j, 4).Value) /
(TotalDemanda(p)))

PorcentajeDonacionJueves(p) = (100 * (Cells(j, 3).Value) /
(TotalDonacion(p)))

ElseIf Weekday(Cells(j, 1)) = 6 Then

PorcentajeDemandaViernes(p) = (100 * (Cells(j, 4).Value) /
(TotalDemanda(p)))

PorcentajeDonacionViernes(p) = (100 * (Cells(j, 3).Value) /
(TotalDonacion(p)))

ElseIf Weekday(Cells(j, 1)) = 7 Then

PorcentajeDemandaSabado(p) = (100 * (Cells(j, 4).Value) /
(TotalDemanda(p)))

PorcentajeDonacionSabado(p) = (100 * (Cells(j, 3).Value) /
(TotalDonacion(p)))

ElseIf Weekday(Cells(j, 1)) = 1 Then

PorcentajeDemandaDomingo(p) = (100 * (Cells(j, 4).Value) /
(TotalDemanda(p)))

PorcentajeDonacionDomingo(p) = (100 * (Cells(j, 3).Value) /
(TotalDonacion(p)))

```

End If
Next
Next

'Se guardan los resultados de los porcentajes diarios

'Se inicializan las celdas en cero
For j = 2 To 8
With Worksheets("Medias")
.Cells(j, 8) = 0
.Cells(j, 9) = 0
End With
Next

'Se calcula la media de porcentajes diarios de la demanda
'y la producción
For j = 1 To NumeroSemana
With Worksheets("Medias")
.Cells(2, 8).Value = (PorcentajeDemandaLunes(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells(2, 8).Value

.Cells(3, 8) = (PorcentajeDemandaMartes(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells(3, 8).Value

.Cells(4, 8) = (PorcentajeDemandaMiercoles(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells(4, 8).Value

.Cells(5, 8) = (PorcentajeDemandaJueves(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells(5, 8).Value

.Cells(6, 8) = (PorcentajeDemandaViernes(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells(6, 8).Value

.Cells(7, 8) = (PorcentajeDemandaSabado(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells(7, 8).Value

.Cells(8, 8) = (PorcentajeDemandaDomingo(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells(8, 8).Value

.Cells(2, 9) = (PorcentajeDonacionLunes(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells(2, 9).Value

```

```
. Cells (3, 9) = (PorcentajeDonacionMartes(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells (3, 9). Value
```

```
. Cells (4, 9) = (PorcentajeDonacionMiercoles(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells (4, 9). Value
```

```
. Cells (5, 9) = (PorcentajeDonacionJueves(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells (5, 9). Value
```

```
. Cells (6, 9) = (PorcentajeDonacionViernes(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells (6, 9). Value
```

```
. Cells (7, 9) = (PorcentajeDonacionSabado(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells (7, 9). Value
```

```
. Cells (8, 9) = (PorcentajeDonacionDomingo(j - 1)) / -
NumeroSemana + .Cells (8, 9). Value
```

```
End With
```

```
Next
```

```
'Se calcula la demanda y la producción estimada
' para la siguiente semana.
```

```
DemandaEstimada = (MediaDemandaTotal(NumeroSemana - 2) +
MediaDemandaTotal(NumeroSemana - 1)) / 2
```

```
DonacionEstimada = (MediaDonacion(NumeroSemana - 2) +
MediaDonacion(NumeroSemana - 1)) / 2
```

```
For t = Final To Final + 6
```

```
' Siete fechas venideras.
```

```
Worksheets("Inicio"). Cells (t + 1, 1) = -
(Worksheets("Inicio"). Cells (t, 1). Value) + 1
```

```
Worksheets("Errores"). Cells (t + 1, 1) = -
(Worksheets("Errores"). Cells (t, 1). Value) + 1
```

```
' Demanda y la producción del domingo.
```

```
If Weekday(Worksheets("Inicio"). Cells (t + 1, 1). Value) = 1 Then
Worksheets("Inicio"). Cells (t + 1, 4). Value = -
```

```

(Worksheets("Medias").Cells(8, 8).Value / 100) * DemandaEstimada *
Worksheets("Errores").Cells(t + 1, 2).Value =_
(Worksheets("Medias").Cells(8, 8) / 100) * DemandaEstimada * 7

Worksheets("Inicio").Cells(t + 1, 3).Value =_
(Worksheets("Medias").Cells(8, 9).Value / 100) * DonacionEstimada

Worksheets("Errores").Cells(t + 1, 5).Value =_
(Worksheets("Medias").Cells(8, 9) / 100) * DonacionEstimada * 7

Else
'Demanda de los siguientes días.

Worksheets("Inicio").Cells(t + 1, 4).Value =_
(Worksheets("Medias").Cells(Weekday(Worksheets("Inicio")_
.Cells(t + 1, 1).Value), 8) / 100) * DemandaEstimada * 7

Worksheets("Errores").Cells(t + 1, 2).Value =_
(Worksheets("Medias").Cells(Weekday(Worksheets("Inicio")_
.Cells(t + 1, 1).Value), 8) / 100) * DemandaEstimada * 7

Worksheets("Inicio").Cells(t + 1, 3).Value =_
(Worksheets("Medias").Cells(Weekday(Worksheets("Inicio")_
.Cells(t + 1, 1).Value), 9) / 100) * DonacionEstimada * 7

Worksheets("Errores").Cells(t + 1, 5).Value =_
(Worksheets("Medias").Cells(Weekday(Worksheets("Inicio")_
.Cells(t + 1, 1).Value), 9) / 100) * DonacionEstimada * 7

End If
Next

'Se copian los valores reales de ayer
Worksheets("Solver").Range("I5").Value =_
Worksheets("Datos").Cells(Final - 1, 2).Value +_
Worksheets("Datos").Cells(Final - 1, 5).Value

Worksheets("Solver").Range("I3").Value =_
Worksheets("Datos").Cells(Final - 1, 4).Value

```

```

'Para saber los pooles de plaquetas totales tomamos la fórmula:
'Pooles totales = (Donaciones totales * 0.8)/4
Worksheets("Solver").Range("I4").Value =_
  Int((Worksheets("Datos").Cells(Final - 1, 3).Value * 0.8) / 4)

'Se introducen al Solver los valores que son
' conocidos hasta ahora (estimados y reales)
If Worksheets("Datos").Cells(Final, 3).Value <> "" Then
Worksheets("Solver").Cells(4, 10).Value =_
  Int((Worksheets("Datos").Cells(Final, 3).Value * 0.8) / 4)

Worksheets("Inicio").Cells(Final, 3).Value =_
  Worksheets("Datos").Cells(Final, 3).Value

For t = 1 To 6
Worksheets("Solver").Cells(3, t + 10).Value =_
  Int(((Worksheets("Errores").Cells(t + Final, 5).Value) * 0.8) / 4)

Next
Else
For t = 0 To 6
Worksheets("Solver").Cells(4, t + 10).Value =_
  Int(((Worksheets("Errores").Cells(t + Final, 5).Value) * 0.8) / 4)

Next
End If

If Worksheets("Datos").Cells(Final, 4).Value <> "" Then
Worksheets("Solver").Cells(3, 10).Value = _
Worksheets("Datos").Cells(Final, 4).Value

For t = 1 To 6
Worksheets("Solver").Cells(3, t + 10).Value =_
Round(Worksheets("Errores").Cells(t + Final, 2).Value)

Next
Else
For t = 0 To 6
Worksheets("Solver").Cells(3, t + 10).Value =_
  Round(Worksheets("Errores").Cells(t + Final, 2).Value)

Next
End If

```

```
If Worksheets("Datos").Cells(Final, 2) <> "" And_
Worksheets("Datos").Cells(Final, 3) <> "" And_
Worksheets("Datos").Cells(Final, 4) <> "" Then
```

```
'Se coian los valores reales de hoy.
Worksheets("Solver").Range("J5").Value = _
Worksheets("Datos").Cells(Final, 2).Value +_
Worksheets("Datos").Cells(Final - 1, 5).Value
```

```
Worksheets("Solver").Range("J3").Value = _
Worksheets("Datos").Cells(Final, 4).Value
```

```
Worksheets("Solver").Range("J4").Value =_
Int((Worksheets("Datos").Cells(Final, 3).Value * 0.8) / 4)
```

'Para actualizar los valores se han de rodar las celdas con los datos nuevos.

```
With Worksheets("Solver")
.Range("C3:C12").Copy
.Range("B3:B12").PasteSpecial xlPasteValues
Application.CutCopyMode = False

.Range("D3:D12").Copy
.Range("C3:C12").PasteSpecial xlPasteValues
Application.CutCopyMode = False

.Range("E3:E12").Copy
.Range("D3:D12").PasteSpecial xlPasteValues
Application.CutCopyMode = False

.Range("F3:F12").Copy
.Range("E3:E12").PasteSpecial xlPasteValues
Application.CutCopyMode = False

.Range("G3:G12").Copy
.Range("F3:F12").PasteSpecial xlPasteValues
Application.CutCopyMode = False

.Range("H3:H12").Copy
.Range("G3:G12").PasteSpecial xlPasteValues
```

```
Application.CutCopyMode = False
```

```
.Range("I3:I5").Copy
.Range("H3:H5").PasteSpecial xlPasteValues
Application.CutCopyMode = False
```

```
.Range("J3:J5").Copy
.Range("I3:I5").PasteSpecial xlPasteValues
Application.CutCopyMode = False
```

```
End With
```

```
For t = 1 To 7
```

```
'Se copian las demandas y las producciones
' estimadas en la hoja Solver.
```

```
Worksheets("Solver").Cells(3, t + 9).Value =_
Round(Worksheets("Inicio").Cells(t + Final, 4).Value)
```

```
Worksheets("Solver").Cells(4, t + 9).Value =_
Int(((Worksheets("Errores").Cells(t + Final, 5).Value) * 0.8) / 4)
```

```
Next
```

```
Worksheets("Solver").Range("I19").Value = _
Worksheets("Datos").Cells(Final, 5).Value
```

```
' Solver
Sheets("Solver").Select
Call Modelo_Solver
Sheets("Datos").Select
```

```
'Se copian los datos calculados por Solver en la hoja Inicio.
```

```
For y = 1 To 7
```

```
Worksheets("Inicio").Cells(y + Final, 2).Value =_
Worksheets("Solver").Cells(5, y + 9).Value
```

```
Worksheets("Inicio").Cells(y + Final, 4).Value =_
Worksheets("Solver").Cells(3, y + 9).Value
```

```
Worksheets("Inicio").Cells(y + Final, 5).Value =_
Worksheets("Solver").Cells(19, y + 9).Value
```

```
Next
```

```

'Se copian los datos reales en la hoja Inicio y Errores
For u = 1 To Final
Worksheets("Inicio").Cells(u, 2).Value = _
  Worksheets("Datos").Cells(u, 2)

Worksheets("Inicio").Cells(u, 3).Value = _
Worksheets("Datos").Cells(u, 3)

Worksheets("Inicio").Cells(u, 4).Value = _
  Worksheets("Datos").Cells(u, 4)

Worksheets("Inicio").Cells(u, 5).Value = _
  Worksheets("Datos").Cells(u, 5)

Worksheets("Errores").Cells(u, 3).Value = _
  Worksheets("Datos").Cells(u, 4)

Worksheets("Errores").Cells(u, 6).Value = _
Worksheets("Datos").Cells(u, 3)

Next

Else

Worksheets("Solver").Range("I19").Value = _
  Worksheets("Datos").Cells(Final - 1, 5).Value

'Solver
Sheets("Solver").Select
Call Modelo_Solver
Sheets("Datos").Select

'Se copian los datos calculados por Solver en la hoja Inicio.
For y = 0 To 7
Worksheets("Inicio").Cells(y + Final, 2).Value = _
  Worksheets("Solver").Cells(5, y + 10).Value

Worksheets("Inicio").Cells(y + Final, 4).Value = _
  Worksheets("Solver").Cells(3, y + 10).Value

Worksheets("Inicio").Cells(y + Final, 5).Value = _
  Worksheets("Solver").Cells(19, y + 10).Value

```

Next

'Se copian los datos reales en la hoja Inicio y Errores

For u = 1 To Final - 1

Worksheets("Inicio").Cells(u, 2).Value =_
Worksheets("Datos").Cells(u, 2)

Worksheets("Inicio").Cells(u, 3).Value =_
Worksheets("Datos").Cells(u, 3)

Worksheets("Inicio").Cells(u, 4).Value =_
Worksheets("Datos").Cells(u, 4)

Worksheets("Inicio").Cells(u, 5).Value =_
Worksheets("Datos").Cells(u, 5)

Worksheets("Errores").Cells(u, 3).Value =_
Worksheets("Datos").Cells(u, 4)

Worksheets("Errores").Cells(u, 6).Value =_
Worksheets("Datos").Cells(u, 3)

Next

End If

'Días de la semana: Lunes=2,Martes = 3....,Sabado=7,Domingo=1

End Sub

Codigo Solver

Sub Modelo_Solver()

,

' Modelo_Solver Macro

,

' Acceso directo: CTRL+m

,

SolverOk SetCell:="\$I\$24", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:=
"\$C\$12:\$P\$12,\$D\$11:\$P\$11,\$E\$10:\$P\$10,\$F\$9:\$P\$9,\$G\$8:\$P\$8,
\$H\$7:\$P\$7,\$I\$6:\$P\$6,\$J\$5:\$P\$5,\$J\$19:\$P\$19" _

, Engine:=2, EngineDesc:="Simplex LP"

SolverOk SetCell:="\$I\$24", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:=
"\$C\$12:\$P\$12,\$D\$11:\$P\$11,\$E\$10:\$P\$10,\$F\$9:\$P\$9,\$G\$8:\$P\$8,\$H\$7:\$P\$7_
,\$I\$6:\$P\$6,\$J\$5:\$P\$5,\$J\$19:\$P\$19" _

```
, Engine:=2, EngineDesc:=" Simplex LP"
```

```
SolverSolve
End Sub
```

5. Volver a Inicio

```
Private Sub CommandButton3_Click()
Final = Range("A2").End(xlDown).Row
posicion = Range("A2").End(xlDown).Row
ActiveSheet.Range("j2") = posicion - 1
Worksheets("Inicio").Select
ActiveSheet.Cells(Final, 1).Select
```

'Se resaltan los valores necesarios en la hoja Inicio.

```
For t = (Final) To (Final + 6)
Worksheets("Inicio").Cells(t + 1, 2).Interior.color =_
RGB(0, 255, 0)
```

```
Worksheets("Inicio").Cells(t + 1, 3).Interior.color =_
RGB(0, 255, 0)
```

```
Worksheets("Inicio").Cells(t + 1, 4).Interior.color =_
RGB(0, 255, 0)
```

```
Worksheets("Inicio").Cells(t + 1, 5).Interior.color =_
RGB(0, 255, 0)
```

```
Next
```

```
For s = 2 To Final -1
```

```
If_
(Worksheets("Inicio").Cells(s, 3).Interior.color = RGB(0, 255, 0)
Worksheets("Inicio").Cells(s, 2).Interior.color =_
RGB(0, 255, 0))_
Then
```

```
Worksheets("Inicio").Cells(s, 3).Interior.ColorIndex = RGB(0, 0, 0)
```

```
Worksheets("Inicio").Cells(s, 2).Interior.ColorIndex = RGB(0, 0, 0)
```

```
Worksheets("Inicio").Cells(s, 4).Interior.ColorIndex = RGB(0, 0, 0)
```

```
Worksheets("Inicio").Cells(s, 5).Interior.ColorIndex = RGB(0, 0, 0)
```

```
End If
```

Next

For s = (Final + 10) To (Final + 18)

If _

(Worksheets("Inicio").Cells(s, 2).Interior.Color = RGB(0, 255, 0) -

Or-

Worksheets("Inicio").Cells(s, 3).Interior.Color = RGB(0, 255, 0)) -

Then

Worksheets("Inicio").Cells(s, 3).Interior.ColorIndex = RGB(0, 0, 0)

Worksheets("Inicio").Cells(s, 2).Interior.ColorIndex = RGB(0, 0, 0)

ElseIf Worksheets("Inicio").Cells(s, 2).Value <> "" Or-

Worksheets("Inicio").Cells(s, 3).Value <> "" Then

Worksheets("Inicio").Cells(s, 3).Value = ""

Worksheets("Inicio").Cells(s, 2).Value = ""

End If

Next

End Sub

Bibliografía

- [1] BANC DE SANG I TEIXITS. https://www.bancsang.net/professionals/productes-serveis/componentes-sanguinis/es_hematies-congelat/
- [2] BEN CHINOWSKY, SDK BRIDGE, NOVIEMBRE DE 2009 *Introducción a VBA en Excel 2010*, https://msdn.microsoft.com/es-es/library/office/ee814737%28v=office.14%29.aspx?f=255&MSPPErrror=-2147217396#odc_Office14_ta_GettingStartedWithVBAInExcel2010_VBAProgramming101.
- [3] DONANTES DE SANGRE DE ARAGÓN. <http://www.donantesdesangrearagon.org/informacion-medica/donacion-aferesis-15.html>
- [4] INSTITUTO CANARIO DE HEMODONACIÓN Y HEMOTERAPIA <http://www3.gobiernodecanarias.org/sanidad/ichh/>
- [5] MICROSOFT. *Definir y resolver un problema con Solver*, <https://support.office.com/es-es/article/Definir-y-resolver-un-problema-con-Solver-5D1A388F-079D-43AC-A7EB-F63>
- [6] SALAZAR JJ (2015) *A mathematical programming technique to perishable inventory management*.

Optimization in the production of platelets in the Canarian Institute of Hemodonation and



Universidad de La Laguna

Hemotherapy

Diego Díaz Rodríguez

Facultad de Ciencias · Sección de Matemáticas
Universidad de La Laguna

alu0100754902@ull.edu.es



Abstract

The design, organization and later on the management of the chain of blood supply and products to the centers that conform a transfusional network, lead to implications that affect the sanitary, social, political and economic areas, given that the shortage and deterioration might cause, among other things, high mortality rates.

A distinctive aspect of the blood supply network to hospitals, whether it is state or private, is that the chain's providers which are voluntary donors, are usually scarce and, in addition, they must respect a minimum time between donations. This implies that their availability is irregular, and is subject to great uncertainty, so that the increase or maintenance of a constant minimum of donors is always a objective priority of the health administrations, since the blood and it is components are the biological resources of the greatest importance in the provision of services by health institutions.

Within the blood components we find the platelets, which play a main role in the blood coagulation and on which the present essay has been based. We must take into account that its useful life is very short and its obtainment is very complicated, as well as costly.

In response, the use of a decision support tool in the production of platelets has been proposed, based on a mathematical model of optimization supplemented with estimates of availability and future demand, allowing the evaluation of inventory levels, with the aim of to avoid producing platelets in excess or a shortage of the product, helping to improve its rational use and, therefore, to lower the expenses subject to this service.

1. The problem

By working with platelets and these having an useful 7 day life span, the amount to be produced must be taken into account, not only because they are a scarce good but also because their elaboration involves a cost. It's therefore necessary to optimize its production considering its expiration date, the demand of the centers and the availability, at that moment, of the different donations.

For this situation the following mathematical model, based on combinatorics, has

been done.

$$\text{Min } \alpha \left(\sum_{i=1}^n (x_i - \sum_{j=1}^m y_{i,j}) \right) + \beta \left(\sum_{i=1}^n z_i \right)$$

sa

$$\sum_{j=1}^m (y_{i-j,j} + z_i) = d_i \text{ with } i = 1, \dots, n$$

$$x_i \geq \sum_{j=1}^m y_{i,j} \text{ with } i = 1, \dots, n$$

$$q_i \geq x_i \text{ with } i = 1, \dots, n$$

$$x_i, z_i \text{ are integers and positives with } i = 1, \dots, n$$

$$y_{i,j} \text{ integer and positive with } i = 1, \dots, n$$

$$y_{i,j} = 1, \dots, m$$

2. Structure and operation of the computer program

In order to facilitate the work of the staff and also having a handy, efficient and easy to use tool, a computer program has been developed mostly done in Visual Basic, helped by Solver for the implementation of the mathematical model.

As far as the functioning is concerned, it has been decided that the code has to be executed by different buttons, each with a specific function. Different pages have been added as well, not only due to presenting a summary of the activity of the program but also to allow a more direct use of the data when it comes to calculating the different estimations.

3. Conclusion

After doing the different mathematical calculations, the following conclusions were drawn:

The done estimations are accurately similar to reality, delivering almost the exact data for the resolution of the mathematical model.

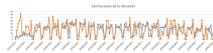


Figure 1: Estimate of demand.



Figure 2: Estimate of donations.

As far as the productions of the platelets pools are concerned, these have been

successful in the majority of cases, achieving to cover the whole demand. After six entire months, two extra orders have been made and wastes were generated in seven occasions, these were caused by the uncertainty of the demand during the weekends and an unexpected descent of the demand during a specific week. For this reason the support of a specialized professional who verifies the data and ponder the suggested decisions is recommended.



Figure 3: Comparative of the productions.

Given all the above, we have developed a program that is capable of not only optimizing the production but also minimizing waste of the blood.

References

- [1] BANC DE SANG I TEIXITS. https://www.bancsang.net/professionals/productes-serveis/components-sanguinis/es_hematies-congelat/
- [2] BEN CHINOWSKY, SDK BRIDGE, NOVIEMBRE DE 2009 *Introducción a VBA en Excel 2010*, https://msdn.microsoft.com/es-es/library/office/ee814737%28v=office.14%29.aspx?f=255&MSPPErr=2147217396#toc_Office14_ta_GettingStartedWithVBAInExcel2010_VBAProgramming101.
- [3] DONANTES DE SANGRE DE ARAGÓN. <http://www.donantesdesangrearagon.org/informacion-medica/donacion-aferesis-15.html>
- [4] INSTITUTO CANARIO DE HEMODONACIÓN Y HEMOTERAPIA <http://www3.gobiernodecanarias.org/sanidad/ichh/>
- [5] MICROSOFT. *Definir y resolver un problema con Solver*, <https://support.office.com/es-es/article/Definir-y-resolver-un-problema-con-Solver-5D1A388F-079D-43AC-A7EB-F63E45925040>
- [6] SALAZAR JJ (2015) *A mathematical programming technique to perishable inventory management*.