Artículo de investigación

ISSN: 2463-0624 / Vol. 1 Nº 9

ODS #12: Producción y consumo responsables

Revista Electrónica TicALS

El Método Simplex En La Comercialización De Fármacos

Juan Manuel García Zamora
Estudiante de Ingeniería Electrónica en la Universidad de los Andes
Bachiller del Colegio Bilingüe Abraham Lincoln
jumagaza2708@gmail.com

Fecha de recepción del artículo: (25 noviembre 2022); Aceptado: (03 febrero 2023)

Resumen Las empresas que se encargan de la comercialización de fármacos se enfrentaron a los cambios que trajo la pandemia del Coronavirus, esto llevó a que se tomaran decisiones respecto a los productos más vendidos del año y la disponibilidad tanto física como monetaria de la empresa. Para analizar este tipo de decisiones, se modeló una situación problema utilizando el método Simplex de la programación lineal para maximizar el beneficio económico obtenido al comercializar los ocho fármacos más vendidos del 2020. Este modelo permitió identificar las ventajas del método Simplex, que se relacionan principalmente con sus amplias aplicaciones con distintas variables y la exactitud de los resultados. Esto se debe a que los resultados no se limitan al valor de la ganancia final, sino que también se logra conocer el presupuesto necesario y las ganancias individuales de cada producto, lo cual le ofrece mayor claridad a la empresa al tomar decisiones. Adicionalmente, se evaluó la eficiencia de realizar el método con cálculos manuales o recurrir al uso de herramientas tecnológicas.

Palabras clave: Comercialización, Fármacos, Maximización, Método Simplex, Programación lineal.

Abstract

Companies that are responsible of drug commercialization had to face changes due to the Coronavirus pandemic. This situation forced companies to make decisions regarding the most successful products in sales, their physical resources and the budget available. A problem was modeled using the Simplex method of Linear Programming to analyze these types of decisions, mainly focusing on maximizing the revenue using eight of the best-selling medicines of 2020. This model was helpful to identify the Simplex method's advantages, which are related to its flexibility regarding the number of variables needed and its accuracy. The results include crucial information for the company, such as the budget needed and the revenue from each product of the problem. Additionally, the problem was solved in two different ways, which were later compared: completing the iterative method with its proper procedures and then checking the results using specific programs.

Keywords: Commercialization, Linear programming, Maximization, Medicines, Simplex Method.

Introducción

La mayor parte de la población en Colombia decidió enfrentarse a la pandemia mediante el uso de medicamentos, lo que generó que estos productos presentaran la mayor variación en ventas (un aumento del 82%) debido a su alta demanda (Statista, 2021). Este fenómeno se pudo evidenciar en el crecimiento del sector farmacéutico en un 26,8% respecto al 2019 y por su participación en el PIB de la nación, que fue de 4,10% (Fenalco, 2021).

Esta tendencia es explicada por Calderon et al. (2020): "ante la demora en la aparición de una vacuna eficaz, retraso que es inherente a los tiempos de investigación, muchas personas han optado, casi de manera instintiva, por automedicarse" (p. 3). Los medicamentos automedicados más consumidos al comienzo de la pandemia fueron los antibióticos anti-inflamatorios (39.2%), anti-inflamatorios (30.9%), antibióticos (21.6%), Ivermectina (5.7%) e Ivermectina mezclada con otros fármacos (2.6%) (Navarrete et al., 2020). Adicionalmente, en el 2020, hubo un aumento de ventas de medicamentos homeopáticos hasta un 25% para la compañía alemana Heel, cuyos productos se presentaban como una alternativa natural para combatir los síntomas más comunes durante la pandemia (Becerra, 2020).

Respecto a productos específicos, aumentaron las ventas de fármacos como Ivermectina (314%), Engystol (300%), Neurexan (36%), Alcohol antiséptico (135%), Vitamina C (127%), Espidifen (48%), Traumeel (10%) y Gastricumeel (10%) (Solórzano, 2020). La similitud de estos productos reside en su capacidad de atacar los síntomas del virus, o mitigar el fuerte cambio por el confinamiento obligatorio.

Frente a esta situación, las empresas que comercializan dichos fármacos tuvieron que tomar decisiones certeras basándose en los cambios del mercado. Este sector se vio obligado a redistribuir sus recursos hacia la lucha contra el Coronavirus, ya que según el Clúster Farmacéutico de Bogotá (2020), 448 de 579 compañías del sector registraron caídas en los tres primeros meses del año, de las cuales, únicamente las que se enfocaban en comercializar productos relacionados al Covid-19 lograban aumentar el precio de sus acciones.

Ahora bien, este cambio de demanda implica la consideración de un gasto para la empresa, el cual se debe manejar desde la optimización, "ya que tiene un alto impacto en los costos operacionales de las empresas y es una de las medidas más importantes para evaluar la efectividad de las cadenas de suministros" (Arango et al., 2013, p.71). Por lo tanto, la optimización es un elemento clave para las empresas, ya que deben maximizar su beneficio económico al optimizar los recursos que tienen a su disposición en una situación específica. Para ello, es común que se utilice la modelación matemática, ya que permite representar varios factores de un contexto y solucionarlo con cifras exactas (Salett y Hein, 2004).

La programación lineal es la rama de la modelación matemática indicada para poder resolver este problema, ya que según Eppen (2000): "Buscamos una solución que permita maximizar la contribución total a las ganancias en relación con el conjunto de las decisiones factibles" (p.73). Es importante mencionar que la programación lineal también se puede utilizar para minimizar los costos implicados en el proceso, pero en este caso se prioriza la maximización. Estas decisiones factibles suelen estar ligadas a las restricciones que presenta la empresa, las cuales, para el caso de este modelo, involucran al presupuesto, los requerimientos para comercializar un producto y la disponibilidad para ello. De este modo, se busca responder a la pregunta: ¿De qué manera el método Simplex de Programación Lineal maximiza el beneficio económico en la comercialización de fármacos?

Metodología

El método más común de la programación lineal es el método gráfico. Sin embargo, en este caso se utiliza el método Simplex porque el gráfico "es recomendable solo en el caso de que el número de variables sea reducido" (Mocholi y Sala, 1993, p.13). El método Simplex consiste en una serie de iteraciones a una matriz que se puede representar como una tabla. Esta contiene la información del problema que se plantea mediante una función objetivo, la cual "describe matemáticamente lo que se quiere maximizar" (Canos et al., 2001, p.132) y está ligada a las restricciones que "impiden lograr un valor máximo o mínimo de la función objetivo" (Guerrero, 2009, p.9).

En este caso se busca maximizar la ganancia, así que la función objetivo "Z" dependerá de la suma del dinero que se obtiene por las ventas de los ocho fármacos. Ahora, respecto a las restricciones, la empresa debe tener una cantidad mayor o igual de disponibilidad física de los fármacos que la que se requiere para comercializar los fármacos. También existe una restricción monetaria, la cual está ligada a que el presupuesto no debe ser inferior al costo que implica comercializar los fármacos.

Para la restricción de la disponibilidad física se tuvo en cuenta la cantidad de gramos o mililitros requerida para comercializar un solo producto por la cantidad de productos. Luego para la restricción monetaria, se tomó en cuenta el margen de ganancia EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization), el cual, según Ledley et al. (2020) es del 29.4% para las empresas farmacéuticas más exitosas antes de la pandemia, pero por la recesión económica se estimó un margen de ganancia del 20%. Al tener esto en cuenta, el 80% de la ganancia total va a representar los costos que tiene que asumir la empresa. De este modo, se planteó el problema según el modelo canónico de la programación lineal:

$$
\begin{aligned}
Max\ Z = {} & 13{,}900x_1+60{,}300x_2 \\
& +58{,}400x_3+5{,}200x_4 \\
& +7{,}500x_5+14{,}700x_6 \\
& +17{,}600x_7+64{,}600x_8
\end{aligned}
$$

Sujeto a

$$5x_1 \leq 5{,}000$$
$$3.75x_2 \leq 1{,}000$$
$$30x_3 \leq 10{,}000$$
$$700x_4 \leq 100{,}000$$
$$6x_5 \leq 10{,}000$$
$$4.8x_6 \leq 5{,}000$$
$$11x_7 \leq 5{,}000$$
$$15x_8 \leq 2{,}000$$

$$
\begin{aligned}
& 11{,}120x_1+48{,}240x_2+46{,}720x_3 \\
& +4{,}160x_4+6{,}000x_5 \\
& +11{,}760x_6+14{,}080x_7 \\
& +51{,}680x_8 \\
& \leq 2{,}000{,}000{,}000
\end{aligned}
$$

$$x_1,x_2,x_3,x_4,x_5,x_6,x_7,x_8 \geq 0$$

Donde las variables x_1 son cada uno de los ocho fármacos más vendidos en el 2020. Los valores *i* de 1 a 8 corresponden a Ivermectina, Engystol, Neurexan, Alcohol antiséptico, Vitamina C, Espidifen, Traumeel y Gastricumeel.

Los coeficientes en la función objetivo se obtienen del precio de venta del respectivo fármaco según las páginas web de las droguerías en enero del 2021. Luego, los datos sobre la disponibilidad tuvieron que ser estimaciones ya que, por motivos de seguridad o privacidad, estas empresas no brindan información al respecto. Sin embargo, usando el margen EBITDA y el contenido de cada producto se puede aumentar la precisión del modelo al determinar cuáles fármacos son más costosos de producir. De este modo, las primeras ocho restricciones son sobre la disponibilidad física, la novena es sobre el costo de producción y, por último, en vista de que no pueden existir unidades negativas a comercializar, se usa la restricción de no negatividad.

Seguido a esto, se agregan las variables de holgura que representan el excedente en las restricciones (Valencia, 2015), lo cual las transforma en ecuaciones.

Adicionalmente, como se puede observar en el siguiente modelo, se iguala a 0 la función objetivo (Winston, 2005):

$$0=Z-13{,}900x_1 - 60{,}300x_2 - 58{,}400x_3 - 5{,}200x_4 - 7{,}500x_5 - 14{,}700x_6 - 17{,}600x_7 - 64{,}600x_8$$

$$5x_1+s_1=5{,}000$$

$$3.75x_2+s_2=1{,}000$$

$$30x_3+s_3=10{,}000$$

$$700x_4+s_4=100{,}000$$

$$6x_5+s_5=10{,}000$$

$$4.8x_6+s_6=5{,}000$$

$$11x_7+s_7=5{,}000$$

$$15x_8+s_8=2{,}000$$

$$11{,}120x_1+48{,}240x_2+46{,}720x_3+4{,}160x_4+6{,}000x_5+11{,}760x_6+14080x_7+51{,}680x_8+s_9=2{,}000{,}000{,}000$$

$$x_1,x_2,x_3,x_4,x_5,x_6,x_7,x_8,s_1,s_1,s_2,s_3,s_4,s_5,s_6,s_7,s_8,s_9\geq 0$$

Una vez planteado, se crea la primera tabla Simplex. En esta, cada fila representa cada una de las ecuaciones del modelo previo y se rotula con la variable de holgura que contiene dicha ecuación. Para el caso de la función objetivo, se rotula con "Z". Luego, las columnas se rotulan con una de las variables del problema, es decir, los ocho fármacos y las nueve variables de holgura. Las intersecciones corresponden a los coeficientes de las variables de la columna en la ecuación de dicha fila. Esta información se representa en la tabla Simplex de la tabla 1.

Tabla 1

Tabla Simplex sobre la comercialización de fármacos.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	Solución
s_1	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5000
s_2	0	3.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1000
s_3	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	10000
s_4	0	0	0	700	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	100000
s_5	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	10000
s_6	0	0	0	0	0	4.8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5000
s_7	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5000
s_8	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2000
s_9	11120	48240	46720	4160	6000	11760	14080	51680(	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20000000
Z	−13900	−60300	−5840	−520(	−750(	−1470	−1760	−6460	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Primera tabla Simplex.

Finalmente, en la columna solución (S) se incluyen "los valores del término independiente en cada una de las restricciones" (Guerrero, 2009, p.123).

Ahora se debe hallar el elemento pivote, el cual corresponde a la intersección de la fila y columna pivote. La columna se identifica con el valor menor de la función objetivo, y la variable con la que se rotula será la variable de salida (Taha, 2012). Después, se usa la prueba de mínimo cociente, que según Hieller y Lieberman (2002) consiste en encontrar el menor cociente que se pueda obtener al dividir el valor de la columna solución entre el coeficiente de su fila que pertenece a la columna pivote que sea distinto de 0. La variable con la que se rotula la fila de menor cociente será la variable de salida.

Realizando este proceso se puede identificar el elemento pivote en la tabla 2:

Tabla 2

Identificación del elemento pivote.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	Solución
s_1	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5000
s_2	0	3.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1000
s_3	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	10000
s_4	0	0	0	700	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	100000
s_5	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	10000
s_6	0	0	0	0	0	4.8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5000
s_7	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5000
s_8	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2000
s_9	11120	48240	46720	4160	6000	11760	11760	51680	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20000000
Z	−13900	−60300	−5840	−520(	−750(	−1470	−1760	−6460	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Resaltando fila y columna pivote.

Donde la variable de salida es S_8, la variable de entrada es x_8 y el elemento pivote es su intersección.

Para realizar una iteración sobre la tabla, se debe modificar por separado la fila pivote y luego los demás elementos de la tabla.

Por medio de operaciones matriciales, el elemento pivote debe tomar el valor de 1, lo cual altera su fila y se reemplaza la variable de salida con la variable de entrada. Esto se puede evidenciar en la tabla 3:

Tabla 3

Tabla Simplex sobre la comercialización de fármacos.

x_8	$\frac{0}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{15}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{2000}{15}$

Nota. Fila pivote modificada usando operaciones matriciales.

Para el siguiente paso, la explicación de Guerrero (2009) sobre las operaciones matriciales en la tabla es extensa. Por lo tanto, basándose en su información, se sintetizó el proceso necesario para cada elemento en la siguiente ecuación:

$$E_{mij} = E_{oij} - (C_{pi} \times F_{mpj})$$

La letra i y la j representan la fila y la columna respectivamente. E_{oij} es el elemento de la tabla original, C_{pi} es el coeficiente de la fila que se quiere modificar que intercepta a la columna pivote, F_{mpj} es el elemento de la fila pivote una vez ha sido modificada en la columna j, y, por último, E_{mij} es el elemento modificado.

Aplicando estas operaciones matriciales en toda la tabla, se obtiene tabla Simplex iterada de la tabla 4:

Tabla 4

Primera iteración de la tabla Simplex.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	Solución
s_1	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5000
s_2	0	3.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1000
s_3	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	10000
s_4	0	0	0	700	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	100000
s_5	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	10000
s_6	0	0	0	0	0	4.8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5000
s_7	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5000
x_8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0	133.33
s_9	11120	48240	46720	4160	6000	11760	14080	0	0	0	0	0	0	0	0	−3100.	1	199310950
Z	−13900	−60300	−5840	−520	−750	−1470	−1760	0	0	0	0	0	0	0	0	3876	0	8613333.3

Nota. Iteración en tabla Simplex modificando ciertos elementos.

Como se puede observar, solo hay cambios en la fila de la novena restricción, la función objetivo y la fila pivote. Esto se debe a que en al momento de reemplazar en la ecuación mencionada previamente, solo se modifica el elemento cuando C_{pi} y F_{mpj} son diferentes a 0, de modo que no toda la tabla es alterada por la iteración.

Además, se puede observar que el elemento de la columna pivote que intercepta a la función objetivo no es un número negativo, sino que tomó el valor de 0. El objetivo de estas iteraciones es llegar a una tabla Simplex donde no se encuentren valores negativos en la fila *Z*.

Resultados

Para este problema, se realizaron ocho iteraciones más, hasta alcanzar la tabla Simplex que se puede ver en la Tabla 5:

Tabla 5

Tabla Simplex después de ocho iteraciones.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	Solución
x_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1000
x_2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.26	0	0	0	0	0	0	0	266.66
x_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0	333.33
x_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	142.85
x_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.16	0	0	0	0	1666.66
x_6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.208	0	0	0	1041.66
x_7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0	0	454.54
x_8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0	133.33
s_9	0	0	0	0	0	0	0	0	−222	−12542	−1401.	−5.94	−100	−2450	−128	−3100.	1	19243077
Z	0	0	0	0	0	0	0	0	2780	15678	1752	7.43	1250	3062.5	1600	3876	0	94615357.

Nota. Tabla Simplex sin valores negativos en la función objetivo.

Cuando no hay valores negativos en la fila Z , se utilizan los elementos de la columna solución para responder el problema. No obstante, fue necesario confirmar los resultados usando Solver de Excel. Adicionalmente, se utilizó WinQSB, el cual es un programa específico para resolver problemas de programación lineal. Los resultados de la tabla Simplex en este programa se pueden observar en la columna rotulada como R.H.S., la cual es equivalente a la columna solución. En la figura 1 se puede observar la solución en Excel y en WinQSB respectivamente.

Figura 1

Resultados en Solver de Excel y WinQSB.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	Relación	Solución	Espacio Solv
Funcion Objetivo	13900	60300	58400	5200	7500	14700	17600	64600	=		94615357,1
Desigualdad 1	5									5000	5000
Desigualdad 2		3,75								1000	1000
Desigualdad 3			30							10000	10000
Desigualdad 4				700						100000	100000
Desigualdad 5					6				≤	10000	10000
Desigualdad 6						4,8				5000	5000
Desigualdad 7							11			5000	5000
Desigualdad 8								15		2000	2000
Desigualdad 9	11120	48240	46720	4160	6000	11760	14080	51680		2000000000	75692285,7

x_1	1000
x_2	266,666667
x_3	333,333333
x_4	142,857143
x_5	1666,66667
x_6	1041,66667
x_7	454,545455
x_8	133,333333
Z	94615357,1

Slack_C1	Slack_C2	Slack_C3	Slack_C4	Slack_C5	Slack_C6	Slack_C7	Slack_C8	Slack_C9	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	R. H. S.
0.2000	0	0	0	0	0	0	0	0	1,000.0000
0	0.2667	0	0	0	0	0	0	0	266.6667
0	0	0.0333	0	0	0	0	0	0	333.3333
0	0	0	0.0014	0	0	0	0	0	142.8571
0	0	0	0	0.1667	0	0	0	0	1,666.6670
0	0	0	0	0	0.2083	0	0	0	1,041.6670
0	0	0	0	0	0	0.0909	0	0	454.5454
0	0	0	0	0	0	0	0.0667	0	133.3333
-2,224.0000	-12,864.0000	-1,557.3330	-5.9429	-1,000.0000	-2,450.0000	-1,280.0000	-3,445.3330	1.0000	1,924,308,000.0000
-2,780.0000	-16,080.0000	-1,946.6670	-7.4286	-1,250.0000	-3,062.5000	-1,600.0000	-4,306.6670	0	94,615,360.0000

Nota. Método Simplex en las herramientas tecnológicas, en la parte superior Excel y en la inferior WinQSB.

Teniendo certeza sobre los resultados obtenidos por las herramientas tecnológicas, se puede iniciar con el análisis de la última tabla Simplex.

Para hallar los valores de las variables x, se deben identificar los elementos de la columna solución, pues estos indican la cantidad de fármacos a comercializar para maximizar la ganancia de cada variable x_i. De modo que en esta situación problema, se pueden comercializar 1000 unidades de Ivermectina, 266 de Engystol, 333 de Neurexan, 142 de Alcohol antiséptico, 1666 de Vitamina C, 1041 de Espidefen, 454 de Traumeel y 133 de Gastricumeel cuando la empresa tiene un presupuesto de 2,000,000,000 en pesos colombianos y los recursos físicos establecidos mediante aproximaciones.

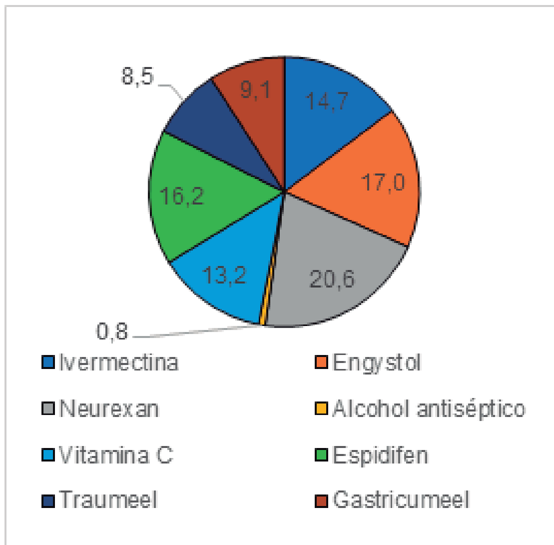
Para hallar la ganancia total, se pueden reemplazar los valores de los fármacos a comercializar en la función objetivo, de modo que:

$$Z=13,900\ (1000)+60,300\ (266.66)$$
$$+58,400(333.33)$$
$$+5,200(142.85)+7,500(1666.66)$$
$$+14,700(1041.66)$$
$$+17,600(454.54)+64,600(133.33)$$
$$Z=94615357.14$$

Este resultado se puede confirmar con el elemento de la columna solución que intercepta a la fila de la función objetivo de la última tabla Simplex. Además, al conocer la cantidad de productos vendidos para cada fármaco, se puede graficar que tan significativo es su aporte. Esto se puede ver en la figura 2:

Figura 2

Aporte de los fármacos comercializados a la ganancia total.



Nota. Porcentaje de cada fármaco de la situación problema respecto a la ganancia total.

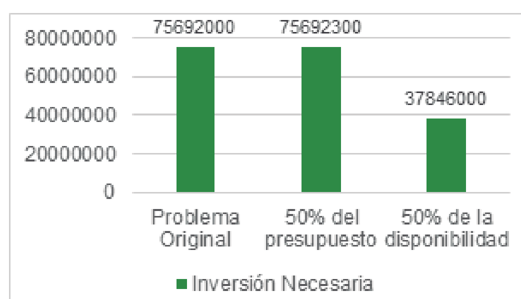
Por último, la tabla permite conocer el dinero restante del presupuesto de la empresa, ya que la fila de la novena restricción nunca fue alterada por una variable de entrada, así que su valor en la columna solución es el valor de la variable de holgura S_9. Como se había mencionado previamente, estas variables representan el excedente de las restricciones. Por lo tanto, la empresa no usó $1,924,307,714 del presupuesto inicial. En consecuencia, solamente fue necesaria una inversión de $75,692,286.

Para investigar más sobre el comportamiento del problema frente a cambios en la disponibilidad monetaria o física (de recursos), se utilizó nuevamente WinQSB en dos situaciones: primero, se redujo en un 50% el presupuesto y se registraron los datos sobre la ganancia total y el dinero restante, seguido a esto, se tomaron los mismos datos en una situación donde se redujo la disponibilidad de todos los fármacos en la misma proporción.

En la figura 3, se puede observar la inversión necesaria, es decir, el valor mínimo del presupuesto para cumplir con la novena restricción.

Figura 3

Presupuesto mínimo en distintas condiciones

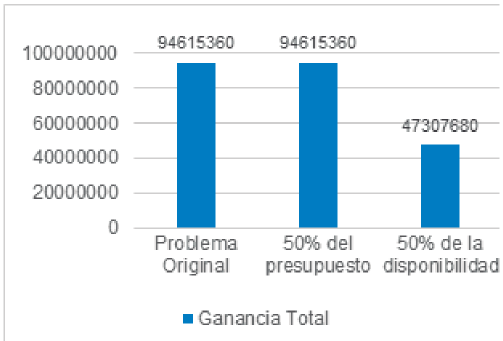


Nota. Valor de la novena variable de holgura dependiendo de ciertos cambios a las restricciones del problema original.

Seguido a esto, en la figura 4, se graficó el cambio de la ganancia total para las tres situaciones.

Figura 4

Ganancia total en distintas condiciones



Nota. Ganancia total en situaciones con distintas condiciones.

A partir de esto, se puede afirmar que la ganancia final y el presupuesto mínimo tienen el mismo valor en el problema original y cuando hay una menor inversión. Sin embargo, estos dos datos se reducen significativamente al poseer menor disponibilidad de los fármacos. Esta información le indica a la empresa que pueden reducir el valor de inversión del problema inicial sin afectar sus ganancias. No obstante, al utilizar menos recursos físicos para los fármacos, la cantidad a comercializar será menor, por lo tanto, su beneficio económico y el presupuesto mínimo también se verán reducidos.

Conclusiones

En definitiva, el método Simplex demostró ser una herramienta útil para las empresas. Esto se debe a que su flexibilidad permite manejar distintos tipos de restricciones y no se limita a un número de variables. Al final, se cumplió el objetivo del artículo, pues se aplicó exitosamente este método de la programación lineal a un problema de comercialización de fármacos para maximizar el beneficio económico. Al hacerlo, se lograron obtener datos como la cantidad de fármacos que se pueden comercializar, los costos que tendrían que asumirse, el dinero obtenido por cada fármaco individualmente y, por último, la ganancia total de la empresa. Estos datos son esenciales para que una empresa logre adaptarse, en el menor tiempo posible, a los cambios en la demanda de medicamentos por la automedicación de la pandemia.

También se puede afirmar que la modelación matemática fue necesaria para poder solucionar la situación problema. Esto demuestra que las empresas son capaces de manejar con mayor claridad las situaciones cuando pueden representar matemáticamente la situación para así visualizar los factores que deben tomar en cuenta para tomar las decisiones más acertadas. Al obtener datos concretos, se reduce la incertidumbre del futuro y se opta por el camino de la objetividad. Esto se pudo evidenciar al establecer situaciones con cambios en las restricciones para analizar su efecto en los resultados finales. Así mismo, se presenta la posibilidad de graficar la información como se hizo en las figuras 2, 3 y 4, lo cual facilita la interpretación de la situación.

Respecto al proceso para resolver el problema, se lograron identificar características de los distintos métodos utilizados para hallar los valores de la última tabla Simplex. En el primero, al comprender todos los pasos que requiere el proceso manual, es más sencillo identificar situaciones donde se puede aplicar el método en un contexto real. Otro aspecto positivo del método manual es que ofrece todos los datos de la matriz de manera clara, incluyendo el valor de la novena variable de holgura. De todos modos, complementando la información de Alvarado (2011), el proceso iterativo para llegar a la tabla Simplex, sin valores negativos en la función objetivo, incluye procesos relativamente simples al realizarlo manualmente. En este caso se realizaron ocho iteraciones, pero puede que con un mayor número de variables o restricciones el proceso sea aún más extenso. En consecuencia, se puede afirmar que es mucho más conveniente utilizar aplicaciones especializadas en resolver problemas con el método Simplex como WinQSB, ya que pueden brindar la información completa de la última tabla Simplex y minimizan el margen de error que surge al realizar tantas operaciones. No obstante, en programas como Excel no se exponen explícitamente algunos datos como el presupuesto requerido, así que solo se recomienda recurrir a este cuando no se tenga acceso a un programa similar a WinQSB (puede ser difícil porque este requiere de una máquina virtual) y el problema contenga un gran número de restricciones o variables.

Finalmente, es importante destacar la capacidad del método Simplex para optimizar recursos a partir de la cuantificación de diversos factores propios de la industria farmacéutica en un solo procedimiento. Es por esto que se recomienda utilizar el método Simplex en otros contextos, pues no se debe limitar al tipo de restricciones y datos utilizados, ni mucho menos solo a la comercialización de fármacos. A pesar de resolver el problema con herramientas tecnológicas, fue necesario resolverlo manualmente para entender cómo se plantea y resuelve el problema. Gracias a esto surgen nuevas ideas sobre las aplicaciones del método Simplex, como pueden ser los restaurantes, emprendimientos personales o la distribución de recursos humanos. Adicionalmente, estos contextos pueden involucrar nuevos factores como la mano de obra, el marketing, la optimización de la materia prima, entre otros, los cuales pueden ser modelados matemáticamente de manera similar a como se ha hecho en esta situación. Sin lugar a duda, la optimización de la comercialización de fármacos ha permitido exponer las posibilidades que ofrece el método Simplex.

Referencias

Alvarado, J. (2011). El análisis post-optimal en programación lineal aplicada a la agricultura. Reflexiones, 90(1), 4. https://cutt.ly/iAg0Ct9

Arango, M., Adarme, W., y Zapata, J. (2013). Inventarios colaborativos en la optimización de la cadena de suministros. Dyna, 80(181), 71-80. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532013000500008

Becerra, L. (2020). Los medicamentos homeopáticos tienen su boom en medio de la pandemia del covid-19. La República. https://www.larepublica.co/empresas/los-medicamentos-homeopaticos-tienen-su-boom-en-medio-de-la-pandemia-3031357

Calderón, C., Soler, F. y Pérez, A. (2020). El Observatorio del Comportamiento de Automedicación de la Universidad del Rosario y su rol en la pandemia de COVID-19. Revista ciencias de la salud, 18(2), 1-8. http://www.scielo.org.co/pdf/recis/v18n2/1692-7273-recis-18-02-1.pdf

Canos, M., Ivorra, C., y Liern, V. (2001). Matemáticas para la economıa y la empresa. https://www.uv.es/vbolos/docencia/mi/matematicas_para_la_economia_y_la_empresa.pdf

Cámara de Comercio de Bogotá. (2020). Los 'efectos secundarios' de COVID·19 en la industria farmacéutica. Clúster Farmacéutico Bogotá - región, Cámara de Comercio de Bogotá. Org.co. https://www.ccb.org.co/Clusteres/Cluster-Farmaceutico-Bogota-region/Noticias/20202/Mayo-2020/Los-efectos-secundarios-de-COVID-19-en-la-industria-farmaceutica

Eppen, G. (2000). Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. (5ª edición). Pearson.

Fenalco Antioquia. (2021). El Sector Farmacéutico fue uno de los protagonistas de 2020. https://cutt.ly/K9SAHhg

Guerrero, H. (2009). Programación lineal. (21 ed). Ecoe Ediciones.

Hillier, F. y Lieberman, G. (2002). Investigación de operaciones. McGraw-Hill/Interamericana Editores, SA. https://cutt.ly/hAg05FX

Ledley, F., McCoy, S., Vaughan, G., & Cleary, E. (2020). Profitability of large pharmaceutical companies compared with other large public companies. JAMA: The Journal of the American Medical Association, 323(9), 834-843. https://doi.org/10.1001/jama.2020.0442

Mocholi, M & Sala, R. (1993). Programación lineal metodología y problemas. Editorial Tebarflores. https://cutt.ly/MAg2szV

Navarrete, P., Velasco, J. y Loro, L. (2020). Automedicación en época de pandemia: Covid-19. Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo, 13(4), 350-355. http://dx.doi.org/10.35434/rcmhnaaa.2020.134.762

Salett, M. & Hein, N. (2004). Modelación matemática y los desafíos para enseñar matemática. Educación matemática, 16(2), 105-125.
https://www.redalyc.org/pdf/405/40516206.pdf

Solórzano, S. (2021). Estos son los medicamentos que más han crecido en ventas en la pandemia. La República. https://www.larepublica.co/empresas/estos-son-los-medicamentos-que-mas-han-aumentado-sus-ventas-durante-la-pandemia-3114639

Statista. (2021). Productos de consumo masivo con una mayor demanda a causa del coronavirus (SARS-CoV-2) en Colombia en febrero de 2020. https://es.statista.com/estadisticas/1105423/variacion-ventas-productos-consumo-masivo-covid-19-colombia/

Taha, H. (2012). Investigación de Operaciones. (9ª ed). Pearson Education. https://jrvargas.files.wordpress.

com/2009/01/investigacic3b3n-de-operaciones-9na-edicic3b3n-hamdy-a-taha-fl.pdf

Valencia, K. (2015). Introducción al Método Simplex: forma tabula paso a paso. [Monografía, Universidad Autónoma del Estado de México] http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/31644/secme-16318.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Winston, W. (2005). Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos (4ª ed). Thomson. https://www.calameo.com/read/00084000223a91248b4af