



OPTIMIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN PRODUCTIVA EN UNA FÁBRICA CONFITERA MULTI PRODUCTORA

OPTIMIZATION AND PRODUCTIVE PLANNING IN A MULTI-PRODUCER CONFECTIONERY FACTORY

Yixy Ávila Suarez¹ 

Héctor Eduardo Sánchez Vargas¹ 

¹Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte Loynaz”, Cuba.

Correspondencia:

Dr. Héctor Sánchez Vargas

hector.sanchez@reduc.edu.cu

Como citar este artículo: Ávila, Y., & Sánchez, H. (2024).

Optimización y planificación productiva en una fábrica confitera multi productora. *Revista de Investigación Hatun Yachay Wasi*, 3(2), 46 - 59. <https://doi.org/10.57107/hyw.v3i2.72>

RESUMEN

Este trabajo aborda la mejora del desempeño económico financiero de una empresa multi productora a partir del empleo de los principios de la investigación de operaciones. Persigue el objetivo de desarrollar una herramienta de planificación productiva por medio de la solución de un problema de optimización, que permita maximizar las ganancias de una fábrica confitera ante limitaciones de capacidades tecnológicas, de mercado y de disponibilidad de materias primas. La optimización se realizó empleando la herramienta SOLVER de Excel y el algoritmo Simplex dentro de la programación lineal. Para esto se definieron inicialmente en una hoja de Excel la función objetivo y las restricciones en forma de inecuaciones lineales. Como resultado de una primera optimización se determinaron los productos y las cantidades a producir que permitirían alcanzar la máxima ganancia mensual bajo las restricciones imperantes. La identificación de nuevas vías para sortear las restricciones que prevalecen y otras optimizaciones sucesivas permitiría un incremento aún mayor de las ganancias, hasta alrededor de un 21,6 %. La herramienta propuesta es de fácil aplicación y ha demostrado su gran utilidad en los análisis dirigidos a elevar las ganancias empresariales en fábricas multi productoras ante limitaciones de mercado, disponibilidad de materias primas y capacidades tecnológicas.

Palabras clave: herramienta de planificación, fábricas multi productos, optimización, programación lineal, investigación de operaciones.

ABSTRACT

This paper deals about the improvement the economic and financial performance of a multi-production company by using the principles of operations research. It pursues the objective of developing a production planning tool through the solution of an optimization problem that maximizes the profits of a confectionery factory in the face of technological, market and raw material availability constraints. The optimization was carried out using the Excel SOLVER tool and the simplex algorithm used in linear programming. For this purpose, the objective function and the constraints in the form of linear inequalities were initially defined in an Excel spreadsheet. As a result of a first optimization, the products and the quantities to be produced were determined that would allow the maximum monthly profit to be achieved under the prevailing constraints. The identification of new ways to circumvent



the prevailing constraints and further successive optimizations would allow an even higher increase in profits, up to about 21.6 %. The proposed tool is easy to apply and has proven to be very useful in analyses aimed at raising corporate profits in multi-producer factories in the face of market constraints, raw material availability and technological capabilities.

Keywords: planning tool, multi-product factories, optimization, linear programming, operations research.

INTRODUCCIÓN

En cualquiera de los ámbitos de la sociedad moderna se pone de manifiesto la incuestionable importancia de la introducción de los resultados de la ciencia. Esta se ha convertido en un elemento decisivo para el desarrollo, no solamente por la generación de nuevos productos y servicios dirigidos a satisfacer las crecientes necesidades de los seres humanos, sino también por el perfeccionamiento de los sistemas de gestión dirigidos a la mejora y sostenibilidad de los procesos empresariales (Şener & Saridoğan, 2011; Wu, Zhao, & Wu, 2019).

La toma de decisiones enfocada hacia la mejora de la eficiencia y la productividad del sector empresarial ha sido altamente influenciada por la Investigación de Operaciones, una disciplina científica que se basa en el modelado matemático y que se ha desarrollado vertiginosamente después de la segunda guerra mundial (Taha, 2012), potenciada aún más con el advenimiento de las computadoras personales, sobre todo en la década iniciada en 1980 (Hillier & Lieberman, 1997).

La Investigación de Operaciones tiene como fin a la optimización. Ha sido utilizada en disímiles campos y solución de problemas como la determinación de rutas y recorridos óptimos, la asignación de recursos en inversiones y reparaciones capitales, la minimización de los inventarios, costos y tiempos, la determinación de menú en los centros gastronómicos, el establecimiento de las mejores condiciones de operación de plantas industriales y la maximización de las ganancias empresariales, entre otras muchas actividades (Albernaz, González, González, Corsanol, & Verelst, 2012; Bernal,

2013; Jablonsky & Skocdopolova, 2017; Lozano & Benavides, 2019; Mahecha, 2018; Martínez et al., 2020; Molina, 2013; Taha, 2012; Vergara, 2017).

Aunque las herramientas de Investigación de Operaciones son conocidas y empujadas mundialmente, sus bondades no son suficientemente explotadas de igual manera en todos los sectores empresariales y zonas geográficas. En muchos casos existe insuficiente conocimiento de las mismas y se desconoce su importancia. También se reconoce en este sentido el limitado acceso a determinados software y datos que posibiliten su utilización (Taramona et al., 2023).

La presente investigación ha sido realizada en una empresa confitera cubana. Este tipo de empresa se caracteriza por desarrollar lotes de producciones en fábricas multipropósitos. Es decir, en un periodo de tiempo dado se realizan campañas productivas en las que se producen diferentes productos, por lo que adquiere relevante importancia la planificación productiva dentro de la gestión empresarial.

Partiendo del propósito de incrementar las utilidades de la empresa, se concibe en el marco de este trabajo una herramienta de planificación basada en la solución de un problema de optimización dirigido a determinar los tipos y las cantidades de productos a elaborar que maximizarían las utilidades. Este tipo de problemas conocido en la disciplina de Investigación de Operaciones se corresponde con el típico problema de asignación de recursos en una planta multipropósito y puede ser resuelto a partir

de la formulación de un problema de programación lineal (Hillier & Lieberman, 1997). A pesar de la importancia de su solución y de contarse con las herramientas necesarias, este tipo de problemas es escasamente abordado por la literatura especializada.

La programación lineal es la técnica más importante dentro de la Investigación de Operaciones. Está diseñada para modelos con funciones objetivo y restricciones lineales (Taha, 2012; Vitor, 2019). Aunque existen varios métodos y algoritmos para la solución de un modelo de programación lineal, el más conocido y utilizado es el algoritmo simplex, implícito en un grupo importante de software y herramientas informáticas, entre las que se destacan GAMS, MINUS, LINGO, XA, STORM, MATLAB y el SOLVER del EXCEL.

En este trabajo se persigue el objetivo de desarrollar una herramienta de planificación productiva por medio de la solución de un problema de optimización, que permita maximizar las ganancias de una fábrica confitera ante limitaciones de capacidades tecnológicas, de mercado y de disponibilidad de materias primas (MP). La solución del problema de optimización tiene solamente un carácter demostrativo, debido a que dicha optimización siempre dependerá de las condiciones imperantes en un momento dado. Lo verdaderamente relevante, más allá de la solución óptima para una circunstancia específica, es contar con una herramienta dirigida a la planificación productiva que garantice las mayores ganancias de la empresa para las referidas circunstancias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como se ha mencionado previamente, el desarrollo de la herramienta de planificación concebida en este trabajo está basada en la solución de un problema de optimización. Un problema de este tipo incluye la definición del objetivo del problema, la formulación del modelo matemático, la selección del método

de solución, la propia solución del modelo y el análisis de los resultados y toma de decisiones sobre la implementación de los resultados (Sarker & Newton, 2008).

En este caso debe quedar claro que, aunque el objetivo de este trabajo es el desarrollo de la herramienta de planificación productiva, el objetivo de la optimización es el de maximizar la ganancia en un periodo productivo dado. Debe observarse una relación directa entre lo que se planifica producir y la ganancia empresarial. Este análisis condujo a definir como variable dependiente o respuesta a la ganancia y como variables independientes a las cantidades de productos a fabricar por cada uno de los renglones productivos.

Formulación del problema de optimización

La formulación es la representación matemática del objeto de optimización. Esta representación está compuesta por la función objetivo (FO), las variables y las restricciones. En la formulación del problema de optimización se definieron la función objetivo y las restricciones. La función objetivo se corresponde con la ecuación que relaciona la variable respuesta (ganancia) y la variable independiente que se define con el conjunto de variables que representan las cantidades de los productos a elaborar. Estas variables independientes son manipuladas durante la corrida del algoritmo de optimización en la búsqueda del óptimo.

Función objetivo:

El establecimiento de la función objetivo partió de una definición de la ganancia global o total (G_T) como la sumatoria de las ganancias unitarias que se obtienen de cada producto (G_{ui}), expresada matemáticamente como:

$$G_T = \sum_{i=1}^n (G_{ui}) \quad (1)$$

En esta ecuación 1 se ha incluido a n como la cantidad de productos incluidos en el análisis. Las ganancias unitarias se definen como:

$$G_{ui} = (P_{ui} - C_{ui}) X_i \quad (2)$$

Donde:

P_{ui} – precio unitario del producto i

C_{ui} – costo unitario del producto i

X_i – cantidad producida del producto i

Restricciones:

Para la definición de las restricciones se han tenido en cuenta los límites existentes en las capacidades tecnológicas, el mercado y la disponibilidad de MP que se pudieran tener en un determinado periodo productivo. El periodo base pudiera definirse convenientemente teniendo en cuenta el régimen productivo fabril, las condiciones técnico organizativas de la empresa, la estabilidad del mercado y las cadenas de suministros, entre otros aspectos.

Las restricciones en este tipo de problemas son inecuaciones que expresan matemáticamente las limitaciones del sistema productivo que le imposibilitan incrementar la productividad y con esta, elevar las ganancias de la organización.

Restricciones de disponibilidad de materias primas:

Esta restricción para cada j materia prima (MP), se definió matemáticamente como:

$$\sum_{i=1}^n (NC_{j,i} \cdot X_i) \leq E_j \quad (3)$$

Donde:

$NC_{j,i}$ – norma de consumo de la MP j para elaborar el producto i

E_j – existencia o disponibilidad de la MP j

De la definición general de esta restricción se deduce que el número de restricciones de disponibilidad de MP estará determinado por la cantidad m de MP involucradas en la elaboración del conjunto de todos los n productos incluidos en el estudio, de forma que esta restricción está representada por un sistema de m inecuaciones y n términos a la izquierda del signo de \leq . El miembro de la derecha de la inecuación se refiere a la disponibilidad de la MP en el periodo productivo que se analiza. El sistema de inecuaciones se representa matemáticamente como:

$$NC_{1,1} \cdot X_1 + NC_{1,2} \cdot X_2 + NC_{1,3} \cdot X_3 + \dots + NC_{1,n} \cdot X_n \leq E_1 \quad (4)$$

$$NC_{2,1} \cdot X_1 + NC_{2,2} \cdot X_2 + NC_{2,3} \cdot X_3 + \dots + NC_{2,n} \cdot X_n \leq E_2$$

$$\dots$$

$$NC_{m,1} \cdot X_1 + NC_{m,2} \cdot X_2 + NC_{m,3} \cdot X_3 + \dots + NC_{m,n} \cdot X_n \leq E_m$$

Restricciones de mercado:

Esta restricción, para cada k cliente se define matemáticamente como:

$$\sum_{i=1}^n (D_{k,i}) \leq X_i \quad (5)$$

Donde:

$D_{k,i}$ – demanda del cliente k por el producto i .

De la definición general de esta restricción se deduce que el número de restricciones de mercado estará determinado por el número de los n productos incluidos en el estudio. Este grupo de restricciones estará representado por un sistema de n inecuaciones y p términos a la izquierda del signo de \leq que representa el número de clientes.

El miembro de la derecha de la inecuación se refiere a la cantidad de productos a producir. El sistema

de inecuaciones se representa matemáticamente como:

$$D_{1,1} + D_{2,1} + D_{3,1} + \dots + D_{p,1} \leq X_1 \quad (6)$$

$$D_{1,2} + D_{2,2} + D_{3,2} + \dots + D_{p,2} \leq X_2$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$D_{1,n} + D_{2,n} + D_{3,n} + \dots + D_{p,n} \leq X_n$$

Restricciones de capacidades tecnológicas:

Esta restricción se define matemáticamente como:

$$\sum_{i=1}^n (NT_i \cdot X_i) \leq T_D \quad (7)$$

Donde:

NT_i – norma de tiempo unitaria para elaborar el producto i

T_D – tiempo disponible para la producción

El desarrollo de la ecuación general da lugar a la siguiente inecuación:

$$NT_1 \cdot X_1 + NT_2 \cdot X_2 + NT_3 \cdot X_3 + \dots + NT_n \cdot X_n \leq T_D \quad (8)$$

En esta restricción cada término a la izquierda del signo de \leq representa el tiempo involucrado en la elaboración del producto i . El miembro de la derecha de la inecuación se refiere al tiempo disponible durante el periodo de producción planificado.

Método de solución del problema de optimización

Al tratarse de un caso de programación lineal se seleccionó el método simplex para la solución del problema de optimización. El algoritmo del método simplex se encuentra implícito en la herramienta

SOLVER de Excel que fue empleada en este trabajo.

La validación del método de solución dirigido al desarrollo de la herramienta de planificación se realizó sobre un caso de estudio en la referida empresa confitera. De un mercado potencial mayorista de esta empresa con más de 160 clientes, solo se tomaron para este estudio los 18 clientes de mayor importancia, que ejecutaron en los tres años previos al estudio más del 80 % de las compras. Se ha tomado como base un periodo de un mes de operaciones con 26 días laborables y dos turnos de trabajo diarios de 8 horas cada uno.

Del total de la cartera de producto de la empresa solo se seleccionaron los 23 productos más vendidos en los tres años previos al estudio. El conjunto de estos productos emplea 31 materias primas. De esta manera se estableció que la matriz Norma de Consumo/Producto, necesaria para la definición de las restricciones de disponibilidad de MP, consta de $m=31$ filas y $n=23$ columnas.

En una celda de la hoja de Excel (figura 1) se especificó la función objetivo (ecuación 1) que toma los datos de costo y precio de cada uno de los productos y depende de la variable independiente (X_i), que toman valores nulos antes de iniciar la corrida de la optimización.

FIGURA 1

Definición de la función objetivo en la hoja de Excel

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Función objetivo										
2	<i>Máximo</i>										
3	Ganancia mensual										
4	$=(D8-D9)*D10+(E8-E9)*$	\$/mes									
5											
6			Prod. 1	Prod. 2	Prod. 3	Prod. 4	Prod. 5	Prod. 6	Prod. 7	Prod. 8	Proc
8	Precio Unitario (\$/und)		65.40	102.25	114.17	3.90	58.65	82.30	110.30	55.20	7
9	Costo Unitario (\$/und)		44.45	72.82	87.82	2.37	40.74	59.42	82.58	37.18	5
10	Cantidades a producir (X)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
11											

Para establecer las restricciones de disponibilidad de las MP (conjunto de la ecuación 4), primeramente, se elaboró la matriz con las normas de consumo (NC) de cada MP por producto. Los términos a la izquierda del signo de \leq de las restricciones de disponibilidad se determinan como el resultado de multiplicar la NC por la cantidad de producto que se fabrica. La suma de todos los términos de la izquierda en una de estas inecuaciones representa el total de la MP necesaria para fabricar los 23 productos. Los términos representan la disponibilidad de las 31 materias primas. De esta manera, como parte del algoritmo simplex montado en *SOLVER* se compararon como restricción los elementos de dos columnas de Excel, una con la suma de los elementos de la izquierda de la restricción

(requerimientos de MP) y otra con el elemento de la derecha (disponibilidad de MP).

En la figura 2 se muestra una representación de la matriz NC/Producto y las columnas de requerimientos y disponibilidad de MP. Se observa que dichos requerimientos son calculados a partir de las NC y los valores de la variable independiente (X_j), con valores ceros antes de la optimización.

FIGURA 2

Preparación de la hoja de Excel para la definición de las restricciones de disponibilidad de MP

			Prod. 1	Prod. 2	Prod. 22	Prod. 23					
8	Precio Unitario (\$/und)		65.40	102.25	4.30	4.85					
9	Costo Unitario (\$/und)		44.45	72.82	2.85	3.05					
10	Cantidades a producir (X)		0	0	0	0					
Restricciones de disponibilidad de MP											
	Materias Primas	UM	is de consumo (UM de MP/und de				Requerimientos de MP	Disponibilidad de MP			
15	MIX Panque	kg	0.4375	0.733	0	0	=D15*\$D\$10+E15	2000.00			
16	Mix Panetela	kg	0	0	0	0	0.00	53232.00			
17	Harina de trigo	kg	0	0	0.011	0.0235	0.00	3232.00			
18	Huevos frescos	kg	0.165	0.26	0.015	0	0.00	4342.00			

Para el caso de las restricciones de mercado, representado por el conjunto de la ecuación 6, también se confeccionó una matriz cliente/producto. En la hoja de Excel se dispuso de una fila de demandas, cuyas celdas representan la demanda mensual de cada producto, determinada como la suma de las demandas de dicho producto por cliente. En este caso, la corrida del algoritmo compara la demanda total mensual del producto con la cantidad de productos a fabricar en dicho periodo.

A diferencia del resto de las restricciones, las capacidades tecnológicas se resumieron en una sola inecuación (ecuación 8). Los términos de la izquierda de esta inecuación se determinan como el producto de las NT por las cantidades a fabricar de cada producto. La NT se expresó en h/unidades de producto y el tiempo disponible para la producción se consideró de 416 horas mensuales, según el régimen de trabajo establecido previamente.

La restricción de capacidad tecnológica se concibe sobre la base de que el tiempo total consumido durante la producción no sobrepase el tiempo disponible de 416 horas mensuales.

En este sentido, se dispuso de una celda del libro de Excel en la que se determinó el tiempo total consumido en la producción como la suma de cada uno de los términos a la izquierda del signo de \leq de la ecuación 8. Este tiempo fue comparado durante la corrida del *SOLVER* con el tiempo total disponible (T_D).

Después de preparada la hoja de Excel en la que se definió la función objetivo y cada una de las restricciones, se procedió a aplicar la herramienta *SOLVER* para la optimización. En la figura 3 se muestra el cuadro de diálogo correspondiente a la aplicación de esta herramienta al caso de estudio.

FIGURA 3

Cuadro de diálogo de la herramienta SOLVER de Excel

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx Mín Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

\$Z\$10 <= \$Z\$7
\$Z\$10 <= \$Z\$10
\$A\$15 <= \$A\$15
\$A\$16 <= \$A\$16
\$A\$17 <= \$A\$17
\$A\$18 <= \$A\$18
\$A\$19 <= \$A\$19
\$A\$20 <= \$A\$20
\$A\$21 <= \$A\$21
\$A\$22 <= \$A\$22
\$A\$23 <= \$A\$23
\$A\$24 <= \$A\$24
\$A\$25 <= \$A\$25

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Método de resolución

Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

En la celda B4 de la hoja de Excel se ha formulado la función objetivo y el rango de celdas desde D10 hasta Z10 se ha seleccionado para las variables independientes que se manipulan durante la optimización, es decir las cantidades de productos que se deben producir en la búsqueda del óptimo. Se ha seleccionado el método Simplex indicado para la programación lineal y se han establecido cada una de las restricciones.

Después de completado el cuadro de diálogo se ejecuta el SOLVER para la solución del primer problema de optimización. Posterior a esta primera ejecución del SOLVER se realizan los análisis necesarios para identificar las restricciones imperantes en las nuevas condiciones y se toman decisiones dirigidas a la obtención de mayores

niveles de ganancias. Esto deriva en otros procesos de optimización bajo nuevas circunstancias convenientemente establecidas con el fin de eliminar o minimizar el efecto de las restricciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de la optimización de las ganancias en las condiciones dictadas por las restricciones de disponibilidad de MP especificadas, de mercado y para un régimen de trabajo de dos turnos diarios de 8 horas, en el caso de estudio presentado, de los 23 productos incluidos en el análisis, solo se deben producir 12 de ellos, en las cantidades que se muestran en la tabla de Excel presentada en la figura 4.

FIGURA 4

Resultados de la optimización inicial

	B	C	D
1	Función objetivo		
2	Máximo		
3	Ganancia mensual		
4	2516273.57	\$/mes	

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
5																								
6		Prod.1	Prod.2	Prod.3	Prod.4	Prod.5	Prod.6	Prod.7	Prod.8	Prod.9	Prod.10	Prod.11	Prod.12	Prod.13	Prod.14	Prod.15	Prod.16	Prod.17	Prod.18	Prod.19	Prod.20	Prod.21	Prod.22	Prod.23
7	Demanda	19550	18920	12000	18640	23560	21200	13450	29740	11500	12350	26055	19600	12240	15420	18530	1060	26045	9020	5125	5900	4750	10250	13585
8																								
11	Xi	4323	16496	0	18640	7257	21200	0	29740	0	2500	26055	10615	0	15420	10804	0	0	0	0	0	0	0	13043

El máximo de ganancia posible a obtener en el mes de operaciones, para las condiciones especificadas, según se muestra también en la figura 4, es de 2 516 273,57 pesos. Obsérvese que se han marcado en rojo las cantidades de productos en los casos en los que se cubrió la demanda totalmente, es decir los cinco productos (Prod. 4, Prod. 6, Prod. 8, Prod. 11 y Prod. 14) en los que la cantidad demandada coincide con la cantidad que arroja el *SOLVER* como respuesta. Esto quiere decir, que son los productos que ha priorizado la herramienta por ser los que mayor influencia tienen en el incremento de la ganancia. Este incremento finalmente se ha limitado por las restricciones del mercado.

En un primer análisis dirigido a la búsqueda de nuevas vías para el incremento de la ganancia empresarial, debe tenerse en cuenta la necesaria ampliación del mercado para estos productos prioritarios. Las ganancias generadas por el resto de los productos cuyas cantidades no alcanzan los valores que demanda el mercado, evidentemente no se han visto limitada por dicho mercado, poniéndose de manifiesto entonces, posibles restricciones de capacidades tecnológicas o de disponibilidad de MP. De hecho, para este caso de estudio, después de ejecutado el *SOLVER*, el tiempo necesario para la

producción se ha igualado al tiempo disponible, por lo que el incremento de las ganancias también se ha limitado por las capacidades tecnológicas.

Las restricciones de capacidades tecnológicas por sí sola no tienen necesariamente que limitar el incremento de la ganancia. Este hecho se pone de manifiesto en este caso de estudio. Más adelante se demuestra que, con un aumento en la disponibilidad de ciertas MP, el *SOLVER* aprovecha el fondo de tiempo disponible y realiza una replanificación productiva en función del incremento de la ganancia, es decir, modifica las cantidades de los productos a producir de manera que se priorizan las producciones que mayor impacto tienen en la ganancia.

En la tabla de Excel que se presenta en la figura 5 se evidencian las restricciones de disponibilidad de MP posterior a la primera corrida del *SOLVER*. Se muestra que existen seis MP, marcadas con letras rojas, que limitan el incremento de la ganancia y cuya existencia (Excedente de MP) ha quedado en cero con la ejecución de la optimización. Para visualizar fácilmente la limitación de alguna MP se recomienda habilitar una columna que permita determinar el excedente de MP después de la

optimización, calculado como la diferencia entre la disponibilidad y el requerimiento de cada MP (ver tabla de la figura 5).

FIGURA 5

Evidencias de las restricciones por disponibilidad de MP

	A	B	C	AA	AB	AC
14				Restricciones de disponibilidad de MP		
15	N°	Materias Primas	UM	Requerimientos de MP	Disponibilidad de MP	Excedente de MP
16	1	MIX Panque	kg	14374.43	25000.00	10625.57
17	2	Mix Panetela	kg	22017.77	28000.00	5982.23
18	3	Harina de trigo	kg	5999.19	9000.00	3000.81
19	4	Huevos frescos	kg	32852	41100	8248
20	5	Azúcar refino	kg	49147.72	72500.00	23352.28
21	6	Aceite	kg	6460.26	8300.00	1839.74
22	7	Sal	kg	71.32	1200.00	1128.68
23	8	Agua potable	kg	27697.97	50000.00	22302.03
24	9	Polvo de Hornear	kg	205.19	465.00	259.81
25	10	Esencia de Vainilla	kg	96.66	214.00	117.34
26	11	Bebida alcohólica	kg	179.92	2100.00	1920.08
27	12	Mermelada de frutas	kg	5369.16	8792.00	3422.84
28	13	Crema de leche	kg	3890.00	3890.00	0.00
29	14	Azúcar Lustre	kg	3878.00	8565.00	4687.00
30	15	Cocoa	kg	3200.00	3200.00	0.00
31	16	Cobertura de chocolate	kg	8224.87	9825.00	1600.13
32	17	Color Amarillo	kg	78.33	323.00	244.67
33	18	Leche en polvo	kg	200.56	2560.00	2359.44
34	19	Canela en polvo	kg	6.52	230.00	223.48
35	20	Manteca Pastelera	kg	120.00	120.00	0.00
36	21	Ácido Cítrico	kg	6.97	320.00	313.03
37	22	Color Azul	kg	10.11	125.00	114.89
38	23	Color Verde	kg	13.45	136.00	122.55
39	24	Color Rojo	kg	18.84	123.00	104.16
40	25	Gragea en Colores	kg	134.49	160.00	25.51
41	26	Granillo	kg	0.00	25.00	25.00
42	27	Domos 250x120 mm	U	27000	27000	0
43	28	Capacillo No. 71	U	68353	85000	16647
44	29	Charola Red Diám 30 cm #12	U	48500	48500	0
45	30	Charola Rect. 380 x 270 mm	U	2500	2500	0
46	31	Papel Kraft x Bandeja	U	0	4005	4005

Después de haber identificado las MP que limitan el incremento de la ganancia, podríamos preguntarnos en qué medida ocurre esta limitación y que estrategia pudiera seguirse desde el punto de vista organizativo y logístico para que las acciones de suministro impacten en mayor medida y de manera más eficiente en el incremento de la ganancia. Para este otro análisis se recomienda construir lo que hemos llamado “Matriz para el análisis de las restricciones por disponibilidad de MP”. En el caso de estudio desarrollado se ha construido la matriz que se presenta en la figura 6.

La Matriz para el análisis de las restricciones de

disponibilidad de MP se ha construido teniendo en cuenta solamente las MP que han resultado inexistentes después de la primera corrida del SOLVER y para los productos que no han sido restringidos por mercado y que han sido priorizados durante la optimización, con cantidades a producir diferentes a las demandadas y diferentes de cero ($X_i \neq 0$). La excepción ha sido el producto 12, que no ha sido restringido por ninguna de las MP que han quedado con cero existencias y que tampoco se ha restringido por el mercado.

El producto 12 sería el único con el que se lograría un incremento de la ganancia sin necesidad de

suministros adicionales de MP y manteniendo la demanda original, solo si se contara con la posibilidad de modificar el régimen laboral. En las condiciones existentes, después de la primera optimización y con un simple aumento del tiempo disponible para la producción, se lograría un incremento de la ganancia a costa de la fabricación del producto 12 hasta caer en una nueva condición marcada por cualquiera de los tipos de restricciones.

Este producto 12 también fue excluido de la

Matriz para el análisis de las restricciones de disponibilidad de MP ya que no depende de este tipo de restricciones. Sin embargo, después del referido incremento del tiempo disponible y ante una segunda optimización, se logra una ganancia de 2 554 220,55 pesos/mes, con un incremento absoluto respecto a la primera optimización de 37 946,98 pesos/mes, que se ha limitado en esta ocasión por restricciones de mercado después de esta segunda optimización.

FIGURA 6

Matriz para el análisis de las restricciones por disponibilidad de MP

		Prod. 1	Prod. 2	Prod. 5	Prod. 10	Prod. 15	Prod. 23
	Demanda (und/mes)	19550	18920	23560	12350	18530	13585
	Cantidades a producir (X_i)	4323	16496	7257	2500	10804	13043
N°	Materias Primas	Normas de consumo (UM de MP/und de Prod.)					
13	Crema de leche	0.05	0.06	0.025	0.075	0.04	0.00092
15	Cocoa	0.0225	0.0385	0.225	0	0	0
20	Manteca Pastelera	0	0	0	0	0	0.0092
27	Domos 250x120 mm	1	0	1	0	0	0
29	Charola Red Diám 30 cm #12	0	1	0	0	1	0
30	Charola Rect. 380 x 270 mm	0	0	0	1	0	0

Aunque debe quedar clara la conveniencia de contar con las seis MP deficitarias, en ocasiones, ante la complejidad en el suministro, se debe decidir qué MP gestionar de forma priorizada para mitigar las restricciones de disponibilidad. Entre los criterios que se proponen tener en cuenta en la selección de dichas MP están la cantidad de productos en los que está incluida la MP como ingrediente y el efecto que un aumento en la disponibilidad de una MP dada pudiera provocar en el incremento de la ganancia.

Para el caso bajo estudio se ha ejemplificado con la selección de tres de las seis MP involucradas. Se ha observado la conveniencia de incrementar la disponibilidad de crema de leche y de cocoa, ya que estas dos MP están incluidas como ingrediente, la primera en seis de los productos y la segunda en tres de ellos, tal como se muestra en la matriz de la figura

6. Por tal razón, se deben priorizar acciones para la adquisición de ambas MP. Las otras cuatro MP no son significativas en cuanto a la cantidad de productos que beneficiarían.

En la figura 6 se muestra que un aumento de las MP numeradas como 20 y 29 provocarían, ante una nueva optimización, un efecto muy poco significativo en la cantidad de productos a producir debido a que estas impactarían en los productos 2, 15 y 23, que caerían con relativa baja producción en el estatus de productos restringidos por el mercado. Obsérvese la diferencia relativamente baja entre las cantidades a producir después de la primera optimización y las cantidades demandadas de estos productos (ver figura 6).

En contraste con lo anterior, el suministro de la MP 27 provocaría un efecto mucho mayor en la

ganancia. Esta MP impacta en los productos 1 y 5, con una diferencia significativa entre las cantidades a producir después de la primera optimización y las cantidades demandadas de estos productos. Las anteriores consideraciones son válidas para productos con ganancias unitarias similares, como la gama de los productos incluidos en este caso de estudio.

Después de incrementar la disponibilidad de las MP 13,15 y 27 (crema de leche, cocoa y domo de 250 x 120 mm), marcadas con una línea horizontal de color rojo en la matriz de restricciones de disponibilidad, se ha corrido nuevamente la optimización con el *SOLVER*, tanto para dos turnos, como para tres turnos de trabajo diarios de 8 horas cada uno. El suministro de las MP consideradas como claves ha sido suficientemente elevado como para no llegar a una nueva condición de restricción por disponibilidad de estas MP, aunque se reconoce que con la corrida de la optimización prevalecerán otras restricciones, que pueden ser de cualquiera de los tipos de restricciones consideradas en este estudio.

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en la búsqueda de las ganancias máximas según las cuatro condiciones de optimización consideradas en este estudio. Se ha mantenido en cada una de ellas la misma demanda para cada uno de los productos incluidos, por lo que las restricciones de mercado han sido las mismas en cada caso y solo han sido modificadas las restricciones de capacidades tecnológicas al modificarse el régimen laboral entre dos y tres turnos de trabajo de 8 horas, así como las restricciones de disponibilidad al considerar un nuevo suministro de las MP claves (MP 13,15 y 27).

Las alternativas de modificación de las restricciones serán manejadas según las posibilidades y condiciones técnico organizativas de cada empresa. En la tabla 1 se observa que, para el caso de estudio, tienen mayor impacto en la ganancia el suministro de MP claves que la ampliación del régimen laboral a tres turnos diarios. Esto no siempre tendrá el mismo comportamiento y tendrá que ser valorado según el caso.

TABLA 1

Resumen de las ganancias máximas que se obtendrían según las condiciones de optimización evaluadas

Condiciones de la optimización	Ganancia máxima (pesos/mes)
Stock inicial de MP y dos turnos	2 516 273,57
Stock inicial de MP y tres turnos	2 554 220,55
Con nuevo suministro de MP claves y dos turnos	3 048 745,17
Con nuevo suministro de MP claves y tres turnos	3 061 109,45

Aunque han sido evaluadas para la optimización un grupo reducido de condiciones contenidas en la tabla 1, también se pudieran tener en cuenta otras muchas alternativas dirigidas a sortear las restricciones que limitan el incremento de la ganancia. Entre estas

alternativas a evaluar pueden incluirse estudios para el incremento de la capacidad productiva a partir de la identificación y eliminación de cuellos de botella, así como la organización operacional, el solapamiento de actividades y el

perfeccionamiento de la planificación logística. Todas estas acciones permitirían crear nuevas condiciones y circunstancias en las que se pudieran aplicar nuevamente la optimización bajo los mismos principios considerados en este estudio.

Otro aspecto clave pudiera ser la apertura de nuevas oportunidades de negocios que permitan sortear las restricciones del mercado, apoyadas por estrategias de mercadeo, tales como la promoción de productos, los estudios de mercado y la canibalización entre productos, elementos que pueden ser integrados también como herramientas de planificación y toma de decisiones basadas en procesos de optimización (Darmawan, Wong, & Thorstenson, 2020).

CONCLUSIONES

La herramienta de planificación propuesta en este estudio parte de los principios científicos de la Investigación de Operaciones, que incluye la búsqueda de los mejores resultados en la actividad productiva, tomando para el caso de estudio mostrado a la ganancia como variable respuesta. Esta herramienta basada en la optimización, que emplea al *SOLVER* de Excel y el algoritmo Simplex dentro de la programación lineal, ha demostrado su gran utilidad para determinar los productos que deben producirse de manera prioritaria ante conocidas limitaciones de mercado, disponibilidad de materias primas y capacidades tecnológicas.

La identificación de las vías para sortear las restricciones que prevalecen después de cada optimización también está concebida dentro de la herramienta, lo que conlleva a la posibilidad de realizar optimizaciones sucesivas dirigidas a la mejora continua y a través del manejo de alternativas y la toma de decisiones, que no solamente tienen que ver con los productos y las cantidades a fabricar, sino con el establecimiento de prioridades en la gestión logística, la mercadotecnia y el establecimiento del régimen productivo.

Definitivamente, la herramienta propuesta es de fácil implementación, no requiere de altas exigencias técnicas y se basa en un conocido y difundido software especializado como es el Excel de Microsoft Office. También es flexible y aplicable a un gran número de situaciones técnico productivas, de manera que su empleo pudiera impactar en el desempeño económico productivo de las empresas multi productoras que la empleen.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albernaz, Y., González, M., González, E., Corsanol, G., & Verelst, H. (2012). Procedimiento para la síntesis y diseño óptimo de plantas discontinuas. *Tecnología Química*, 3, 257 - 264. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852012000300005&script=sci_arttext
- Bernal, L. (2013). *Desarrollo de un sistema de planeación, programación y control de la producción de alimentos en la fundación Hogar Integral*. [Tesis de Pregrado, Universidad Libre]. <https://hdl.handle.net/10901/9414>
- Darmawan, A., Wong, H. W., & Thorstenson, A. (2020). Integrated sales and operations planning with multiple products: Jointly. *Applied Mathematical Modelling*, 79, 2 - 14. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.12.001>
- Hillier, F., & Lieberman, G. (1997). Introducción a la investigación de operaciones (. McGraw-Hill. https://dudasytareas.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/05/hillier_lieberman.pdf
- Jablonsky, J., & Skocdopolova, V. (2017). Análisis y optimización del proceso de producción en una empresa procesadora de leche. *Información Tecnológica*, 28(4), 39 - 46. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400006>

- Lozano, O., & Benavides, B. (2019). *Rediseño de procesos de fabricación de una pyme confitera en la ciudad de Bogotá: Caso de estudio Americandy*. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/44a887d6-1856-4f2a-a6b6-546007b83c/content>
- Mahecha, L. (2018). *Propuesta de mejora en el proceso de producción del área de panadería de Gate Gourmet Colombia utilizando herramientas de Lean Manufacturing para disminuir los desperdicios*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/fcfc6ca5-7dae-4ee1-b134-361b3a151ce5/content>
- Martínez, Y., Oquendo, H., Caballero, Y., Guerra, L., Junco, R., Benítez, I., Madera, J. (2020). Aplicación de la investigación de operaciones a la distribución de recursos relacionados con la COVID-19. *Retos de la Dirección*, 14(2), 86 – 105. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552020000200086
- Molina, Y. (2013). *Plan de producción en los servicios buffet de hoteles de recorrido: Caso: Hotel Horizontes “La Granjita”*. [Tesis de Pregrado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas]. <https://dspace.uclv.edu.cu/items/582deef8-749c-4997-9448-81d541b0a018>
- Sarker, R., & Newton, C. (2008). *Optimization modelling: A practical approach*. Taylor & Francis Group. <http://lib.uhamka.ac.id/file?file=digital/ebooks/eBST-03080059.pdf>
- Şener, S., & Saridoğan, E. (2011). The effects of science-technology-innovation on competitiveness and economic growth. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 24, 815 - 828. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.09.027>
- Taha, H. (2012). *Investigación de operaciones*. Pearson Educación. <https://fad.unsa.edu.pe/bancayseguros/wp-content/uploads/sites/4/2019/03/investigacic3b3n-de-operaciones-9na-edicic3b3n-hamdy-a-taha-fl.pdf>
- Taramona, L., Sánchez, H., García, F., Salgado, A., Huatuco, M., & Sánchez, A. (2023). La investigación de operaciones: Estudio para su aplicación en establecimientos gastronómicos y turísticos en Lima. *Retos de la Dirección*, 17(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2306-91552023000200007&script=sci_arttext
- Vergara, P. (2017). *Optimización del proceso de planificación de producción de alimentos en una empresa de concesión de casinos gastronómicos*. [Tesis de postgrado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/144637>
- Torres, F. (2019). Two dimensional search algorithms for linear programming. *Mathematics Faculty Publications*, 67. <https://digitalcommons.unomaha.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1066&context=mathfacpub>
- Wu, M., Zhao, M., & Wu, Z. (2019). Evaluation of development level and economic contribution ratio of science and technology innovation in eastern China. *Technology in Society*, 59, 101194. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2019.101194>