

Optimización en la producción de surtidos de helados Alondra

Optimization in the production of ice cream assortments Alondra

MSc. Mabel Bofill-Pérez¹, Dr. Eduardo García-Noa^{II}, MSc. Yanet Sariego-Toledo^{II}

¹*Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, Cuba;*

^{II}*Fábrica de Helados Alondra, La Habana, Cuba*

ysariego@quimica.cujae.edu.cu

Resumen

El aumento de las ganancias de las empresas, como resultado de un elevado nivel de calidad de los productos y una disminución de los costos, es un objetivo a alcanzar por cada una de ellas. Las producciones lácteas emplean materias primas con alto costo unitario por lo que minimizar estos gastos es una directriz en la economía empresarial para hacer más competitivas sus producciones. El helado Alondra fue diseñado por el Ministerio del Turismo con el fin de satisfacer la demanda que existe de este producto en el mercado hotelero, encargo social que requiere de una producción estable y con calidad, que pudiera estar afectada fundamentalmente por los niveles de eficiencia actuales. El trabajo se desarrolló en la fábrica de helados Alondra de La Habana, definiéndose como tarea fundamental establecer un procedimiento de cálculo de la distribución óptima en surtido de helados, dirigida al uso racional de materias primas y garantizando la demanda mensual de sabores. Para lograrlo, se estableció como variable dependiente el costo del producto definiéndose restricciones de capacidad, de disponibilidad de materias primas y de necesidad atendiendo a la demanda de cada surtido. Se utilizó el método de la programación lineal, desarrollando los cálculos con el complemento Solver del Excel. El resultado fundamental es el sistema de ecuaciones y el programa de cálculo para obtener con un costo de producción mínimo y la variedad de sabores mensual demandada.

Palabras clave: helados, optimización, programación lineal, distribución surtidos y mezclas.

Abstract

The increase of the profits of the companies, as a result of a high level of quality of the products and a decrease of the costs, is an objective to reach by each one of them. Dairy productions use raw materials with a high unit cost, so minimizing these expenses is a guideline in the business economy to make their productions more competitive. The ice cream Alondra was designed by the Ministry of Tourism in order to meet the demand that exists for this product in the hotel market, social order that requires stable production and quality. This could be affected fundamentally by the current efficiency levels. The work was developed in the ice cream factory Alondra, located in Havana, defining as a general objective to establish the procedure for calculating the optimal distribution of ice cream assortment, aimed at the rational use of raw materials and guaranteeing the monthly demand of flavors. To achieve this, the cost of the

product was established as a dependent variable, defining capacity constraints, availability of raw materials and need, according to the demand of each assortment. The linear programming method was used, developing the calculations with the Excel Solver complement. The fundamental result is the system of equations and the calculation program to obtain with a minimum production cost and the monthly flavor variety demanded

Keywords: ice cream, optimization, linear programming, distribution of assortments and mixtures.

Introducción

La economía cubana por sus recursos limitados, necesita ser cada día más eficiente y competitiva, para insertarse en los mercados globalizados del mundo y poder alcanzar los niveles de utilidades que desea el país. Es por ello que el aumento de las ganancias de las empresas, como resultado de un elevado nivel de calidad y variedad de los productos junto con una disminución de los costos, debe ser un objetivo a alcanzar por cada una de ellas.

La producción de helados utiliza una de las tecnologías de mayor consumo energético y de materias primas, los cuales implican un alto costo, por lo que es necesaria la búsqueda de estrategias para disminuir las pérdidas y los costos de producción realizando variaciones en el proceso con el objetivo de disminuir al máximo las deficiencias del mismo, de manera que se pueda aumentar la competitividad.

La fábrica de helados Alondra cita en el Zoológico Nacional, Boyeros, La Habana, Cuba tiene una gran demanda de variedad de sabores, característico de un sector hotelero de gran calidad, pues necesita ofertar una amplia variedad de sabores de este delicioso postre en todo el sector hotelero de la región occidental del país. Esta demanda no se ha podido satisfacer y por tanto se han reducido las ventas del producto debido a la pérdida de clientes por falta de variedad de sabores. Debido a lo anteriormente expuesto es que el objetivo general del presente trabajo es definir un procedimiento de cálculo para la optimización de la distribución de sabores a producir mensualmente garantizando la minimización de los costos de calidad con la elaboración de todas las variedades de sabores que no se hacen y construir una herramienta de cálculo rápido para la realización de dicho procedimiento a nivel industrial.

Materiales y métodos

Con el objetivo de minimizar el costo de calidad por cliente perdido por falta de variedad de sabores, se decide realizar una optimización buscando el costo mínimo por consumo de materias primas con la elaboración de todas las variedades de sabores que no se producen actualmente.

Para realizar esta optimización se sigue la estrategia general de solución de problemas de optimización propuesta por Orestes Mayo y otros autores que consta de los siguientes pasos [1-6]:

Análisis de la situación o problema de optimización y definición de las variables y características de interés técnico-económico

Este paso debe estudiarse a profundidad el proceso y realizar un análisis de las alternativas posibles. Se deben definir las variables más importantes del sistema y las relaciones entre estas que son las que determinan las restricciones internas en función de los balances de masa, relaciones tecnológicas y límites físicos. También hay que examinar las restricciones externas las cuales están determinadas por aspectos que sean independientes de la situación física, como condiciones geográficas, disponibilidad, demanda y calidad de las materias primas entre otros aspectos. Además, deben definirse las características del proceso que son de interés desde el punto de vista técnico económico o en función del objetivo del problema [1,2].

La situación física o problema de optimización ha sido expuesta en la introducción del presente trabajo. Es decir, que el objetivo de la optimización es obtener el esquema óptimo de producción de sabores elaborando todas las variedades que se han dejado de producir garantizando un costo mínimo. Al conocer este esquema óptimo puede compararse con el anterior y estimar el incremento de las vetas por variedad de sabores, o lo que es lo mismo, la reducción que existía en estas por clientes perdidos por falta de variedad de sabores.

Definición del criterio de optimización y formulación de la función objetivo y las restricciones

La función objetivo del problema no es más que una función matemática que relaciona las variables de entrada y salida, incluyendo las de las restricciones. La función objetivo no es más que la traducción a términos matemáticos del planteamiento verbal del objetivo deseado en el problema. La función objetivo debe estar asociada un criterio bien definido de efectividad, pudiendo emplearse varios criterios.

Para la situación en estudio se define como criterio de optimización minimizar los costos de producción por consumo de materias primas, la cual será la variable dependiente y se estimará mediante la ecuación 1 [1-6].

$$\text{Minimizar } (C) = \sum_{i=1}^{i=n} C_i \cdot X_i \quad (1)$$

donde:

C: costo mínimo en \$/mes.

C_i: costo unitario de una mezcla de helado para el sabor i en \$/mezcla.

X_i: número de mezclas que se elaboran en un mes del sabor i.

Como restricciones se establecerán ecuaciones que expresen cada una de las características particulares de la situación física a considerar [3-5].

Determinar la solución óptima mediante la aplicación de un método de optimización adecuado

El método de optimización a aplicar depende de la naturaleza de la función objetivo y de las restricciones mediante las cuales se exprese matemáticamente la situación estudiada.

En este caso se aplica Programación lineal por ser una situación que se formula mediante una función objetivo y restricciones lineales respecto a las variables independientes. El método de solución de problemas de programación lineal es el Método Simplex, el cual se desarrolla mediante el complemento Solver de Excel, por ser una herramienta simple y de fácil acceso para los trabajadores de la fábrica, permitiendo que este algoritmo de cálculo se convierta en una herramienta de trabajo [4, 5, 6]. Es imprescindible aclarar

que las variables independientes son enteras pues la cantidad de mezclas preparadas por mes o día de producción es siempre un número entero, por lo que puede plantearse que se está realizando una programación lineal con enteros.

Chequear la validez y la racionalidad de la solución

Una vez obtenida la solución debe revisarse la racionalidad de la respuesta obtenida y si los resultados no son satisfactorios se debe revisar el planteamiento del problema junto con las variables y restricciones no consideradas anteriormente [1,2]

Resultados y discusión

Análisis de la situación o problema de optimización y definición de las variables y características de interés técnico-económico

En la industria del helado la base de cálculo empleada es una mezcla que en el caso particular de la fábrica en cuestión equivale a 300 litros. En este tipo de industria la planificación de la distribución de sabores, las fórmulas de elaboración de cada sabor, los cálculos por costos de producción, los cálculos de índices de consumo energético y de materias primas y hasta el trabajo diario del operario encargado del proceso están referidos a una mezcla. Por esto para la realización de la optimización se trabaja con número de mezclas de helados a producir por sabores y estas serán precisamente las variables independientes relacionadas en la función objetivo [7- 10]. Dichas variables serán entonces variables enteras que se denominan como se lista a continuación:

X₁: Cantidad de mezclas de Chocolate a producir en un mes.

X₂: Cantidad de mezclas de Fresa a producir en un mes.

X₃: Cantidad de mezclas de Vainilla a producir en un mes.

X₄: Cantidad de mezclas de Caramelo a producir en un mes.

X₅: Cantidad de mezclas de Naranja-Piña a producir en un mes.

X₆: Cantidad de mezclas de Guayaba a producir en un mes.

X₇: Cantidad de mezclas de Mango a producir en un mes.

X₈: Cantidad de mezclas de Fresa-Bombón a producir en un mes.

X₉: Cantidad de mezclas de Vainilla-Chip a producir en un mes.

X₁₀: Cantidad de mezclas de Moscatel a producir en un mes.

X₁₁: Cantidad de mezclas de Tiramisú a producir en un mes.

X₁₂: Cantidad de mezclas de Yogurt a producir en un mes.

Se identificaron como características particulares a considerar que:

La capacidad productiva de la planta de helados en un mes es de 312 mezclas de helado.

La disponibilidad de materia prima en la fábrica para un mes y el consumo de ellas se muestra en la tabla 1. Dichos consumos son valores ficticios pues por secreto comercial no se divulgan las proporciones reales de los ingredientes.

Tabla 1
Disponibilidad y consumo de materias primas

Sabor	Materias primas (kg)							
	Leche	Azúcar	Grasa	Estabilizante	Cocoa	Cobertura	Sabores	Colorante
Chocolate	30,0	53,0	9,3	1,5	8,4	0	0	0
Fresa	31,2	58,0	12,4	1,5	0	0	12,4	0
Vainilla	31,2	58,0	12,4	1,5	0	0	12,4	0,05
Caramelo	31,2	58,0	12,4	1,5	0	0	12,4	0
Naranja piña	31,2	58,0	12,4	1,5	0	0	12,4	0,1
Guayaba	31,2	32,0	12,4	1,5	0	0	62,0	0,1
Mango	31,2	28,5	12,4	1,5	0	0	78,0	0,6
Fresa bombón	31,2	58,0	12,4	1,5	0	6	12,4	0
Vainilla chip	31,2	58,0	12,4	1,5	0	6	12,4	0,05
Moscatel	31,2	58,0	12,4	1,5	0	0	12,4	0
Tiramisú	31,2	58,0	12,4	1,5	0	0	12,4	0
Yogurt	31,2	58,0	12,4	1,5	0	0	8,0	0
Disponibilidad máxima (kg)	10 000	20 000	4 000	2 000	3 000	1 000	1 000	1

No se incluyen las disponibilidades de los sabores en pastas, mermeladas y demás responsables del sabor pues son materias primas de las cuales hay disponibilidad para 5 meses de producción, según la capacidad productiva.

Plan productivo: Con el objetivo de establecer una comparación con el costo real al que se trabaja antes de la optimización se toma como referencia el

número de mezclas promedio que se producen en 1 mes que es de 216 mezclas.

En la tabla 2 se muestran las demandas reales de los clientes por cada sabor de helado.

En la optimización solo se tiene en cuenta el costo de las materias primas a emplear en cada mezcla, pues se considera que el resto de los componentes del costo de producción son independientes del sabor del helado a producir.

El costo de cada mezcla se determinó por la suma de los costos de cada uno de los ingredientes que la conforman en función de la composición para cada sabor y los costos de cada ingrediente se estimaron multiplicando el costo unitario de estos por su contenido total en la mezcla. En la tabla 3 se muestran los costos de una mezcla para cada surtido.

Tabla 2

Demandas por surtido de helado que debe satisfacer la planta

Surtido	Demanda Mínima (% de la producción total)
Chocolate	86
Fresa	32
Vainilla	17
Caramelo	4
Naranja-Piña	6
Guayaba	32
Mango	6
Fresa-Bombón	4
Vainilla-Chip	4
Moscatel	4
Tiramisú	2
Yogurt	2

Tabla 3

**Costos por consumo de materia prima por mezcla
para cada sabor**

Sabor	Costo (CUC)
Chocolate	376,59
Fresa	408,79
Vainilla	409,05
Caramelo	418,61
Naranja-Piña	411,72
Guayaba	360,52
Mango	365,36
Fresa-Bombón	439,10
Vainilla-Chip	439,37
Moscatel	443,57
Tiramisú	426,96
Yogurt	459,53

Definición del criterio de optimización y formulación de la función objetivo y las restricciones

El criterio de optimización seleccionado como ya se planteó anteriormente es un criterio económico, en este caso, el de minimizar las pérdidas por clientes perdidos por poca variedad de sabores garantizando que los costos de producción por consumo de materias primas sean mínimos al elaborar los sabores que no se están produciendo actualmente. Este costo mínimo se representa por la letra C y se expresa en \$/mes y se formula mediante la ecuación 1 obteniéndose la ecuación 2 como función objetivo.

$$\text{Minimizar } (C) = 376,59X_1 + 408,79X_2 + 409,08X_3 + 418,61X_4 + 411,72X_5 + 360,52X_6 + 365,36X_7 + 439,10X_8 + 439,37X_9 + 443,57X_{10} + 426,96X_{11} + 459,53X_{12} \quad (2)$$

Tomando en consideración las características particulares de la situación en estudio relacionadas en el epígrafe anterior se formulan las siguientes restricciones:

Restricción 1: Capacidad productiva de la Planta de helado.

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} \leq 312 \quad (3)$$

Restricción 2: Disponibilidad de Leche Entera en Polvo.

$$30X_1 + 31,2(X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12}) \leq 10\ 000 \quad (4)$$

Restricción 3: Disponibilidad de azúcar.

$$56X_1 + 58(X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12}) + 32X_6 + 28,50X_7 \leq 20\ 000 \quad (5)$$

Restricción 4: Disponibilidad de Grasa vegetal en polvo.

$$9,30X_1 + 12,40(X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12}) \leq 4\ 000 \quad (6)$$

Restricción 5: Disponibilidad de estabilizador integrado.

$$1,5(X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12}) \leq 2\ 000 \quad (7)$$

Restricción 6: Disponibilidad de cocoa.

$$8,40X_1 \leq 3\ 000 \quad (8)$$

Restricción 7: Disponibilidad de cobertura de chocolate.

$$6(X_8 + X_9) \leq 1000 \quad (9)$$

Restricción 8: Plan productivo.

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} \geq 216 \quad (10)$$

Restricción 9: Demanda de helado de Chocolate.

$$X_1 \geq 86 \quad (11)$$

Restricción 10: Demanda de helado de Fresa.

$$X_2 \geq 32 \quad (12)$$

Restricción 11: Demanda de helado de Vainilla.

$$X_3 \geq 17 \quad (13)$$

Restricción 12: Demanda de helado de Caramelo.

$$X_4 \geq 4 \quad (14)$$

Restricción 13: Demanda de helado de Naranja-Piña

$$X_5 \geq 6 \quad (15)$$

Restricción 14: Demanda de helado de Guayaba.

$$X_6 \geq 32 \quad (16)$$

Restricción 15: Demanda de helado de Mango

$$X_7 \geq 6 \quad (17)$$

Restricción 16: Demanda de helado de Fresa-Bombón

$$X_8 \geq 4 \quad (18)$$

Restricción 17: Demanda de helado de Vainilla-Chip

$$X_9 \geq 4 \quad (19)$$

Restricción 18: Demanda de helado de Moscatel.

$$X_{10} \geq 4 \quad (20)$$

Restricción 19: Demanda de helado de Tiramisú.

$$X_{11} \geq 2 \quad (21)$$

Restricción 20: Demanda de helado de Yogurt

$$X_{12} \geq 2 \quad (22)$$

Restricción 21: Condición de no negatividad de las variables independientes supuesto de partida de la programación lineal.

Determinar la solución óptima mediante la aplicación de un método de optimización adecuado

En la tabla 4 se muestran los resultados de la optimización con el complemento Solver de Excel. Como puede verse el costo mínimo mensual al que se trabajaría utilizando una mayor variedad de sabores que la actual es de 83485,92 \$/mes.

Tabla 4

Resultados de la optimización

Variables	Solución óptima (número de mezclas)	Contribución al costo (\$/mes)
X1: Chocolate	86	32 386,70
X2: Fresa	32	13 081,30
X3: Vainilla	17	6 954,36
X4: Caramelo	4	1 674,44
X5: Naranja piña	6	2 470,32
X6: Guayaba	49	17 665,50
X7: Mango	6	2 192,16
X8: Fresa bombón	4	1756,40
X9: Vainilla chip	4	1757,48
X10: Moscatel	4	1 774,28
X11: Tiramisú	2	853,92
X12: Yogur	2	919,06
Función objetivo (Costo por materias primas mínimo)		83485,92

También puede observarse que aunque las producciones más altas son en los sabores más económicos que también tienen alta demanda como son el chocolate y la guayaba, se respeta la demanda de fresa a pesar de tener un costo medio y se propone elaborar durante el mes el resto de la gama de sabores que garantizaría la captación de mayores ingresos a partir de que son sabores que actualmente estos clientes adquieren de la competencia.

Comparando el costo mínimo obtenido a partir de la optimización, con el costo real promedio al que trabaja la fábrica actualmente que se muestra en la tabla 5, se puede observar que aunque se encuentra por encima del costo actual lo cual es lógico pues se producen sabores que son caros y que actualmente no se están produciendo, la diferencia es de 1 353,19 CUC al mes.

Esto significa un aumento del costo anual en 16 238,28 CUC. Sin embargo el estimado de pérdida de cliente por falta de variedades de sabores que se muestra en la tabla 6 fue de 28 200 CUC durante el año anterior, por lo que a pesar de aumentar el costo en la producción propuesta, se lograría recuperar estos clientes y además habría una ganancia de 4 372,56 CUC al año, que podría incrementarse con la incorporación de nuevos clientes que exigen más variedad de sabores que la que existe actualmente.

Tabla 5**Costo real de la producción promedio mensual**

Sabor	No. Mezclas producidas	%	Costo por mezcla	Costo Total
Chocolate	116	54	376,56	43680,96
Fresa	21	10	408,79	8584,59
Vainilla	12	6	409,05	4908,60
Caramelo	6	3	418,61	2511,66
Naranja-Piña	7	3	411,72	2882,04
Guayaba	34	16	360,52	12257,68
Mango	20	9	365,36	7307,20
Fresa-Bombón	0	0	439,1	0
Vainilla-Chip	0	0	439,37	0
Moscotel	0	0	443,57	0
Tiramisú	0	0	426,96	0
Yogurt	0	0	549,53	0
Total (\$/mes)	216			82132,73

Tabla 6**Costo por cliente perdido debido a falta de variedad durante el 2011**

Cientes perdidos	Ingresos perdidos (CUC)	Cientes que bajan los pedidos cuando se afecta la variedad
Hotel Comodoro	3600	Afectación en 600 pesos mensuales por falta de 8 surtidos en los últimos 6 meses
Palmares Centro	6000	Afectación en 1000 pesos mensuales durante los últimos 6 meses
Palmares Este	7800	Afectación en 1300 pesos mensuales por 6 meses
Soderías	10800	Afectación en 1800 pesos durante 6 meses
TOTAL	28200	

En la tabla 7 se muestran los valores de holgura y precios sombra para cada restricción. Dada la holgura que tiene la restricción de plan de producción o capacidad es posible elaborar 96 mezclas más. Esto es favorable para la planta pues significa que está en posibilidades de dar respuesta ante el incremento de la demanda.

De los resultados en las restricciones de disponibilidad se pudieran trabajar en función de llevar los inventarios a los niveles reales de producción actual, tomando en consideración la estabilidad de los productos en el mercado y la formalidad de los proveedores.

Tabla 7

Restricciones que presentan holgura y precios sombra.

Restricciones	Holgura	Precio sombra
R1	96,0	0
R2	3364,0	0
R3	9095,0	0
R4	1588,2	0
R5	1676,0	0
R6	2277,6	0
R7	952,0	0
R8	0	459,53
R14	17,0	0

La Restricción 8 que establece el plan productivo actual, refleja un precio sombra de 459,53 CUC lo que manifiesta el costo que se incrementaría producir una mezcla más. En el escenario más desfavorable no es conveniente para la Fábrica pues se disminuiría la ganancia final aunque se ganarían los clientes.

Chequear la validez y la racionalidad de la solución

La respuesta obtenida es lógica, pues se cumple correctamente con el sentido físico de todas las restricciones y es posible hacer la cantidad de mezclas obtenidas por sabores.

Conclusiones

Aplicando la Programación lineal con enteros se obtuvo una distribución óptima de producción de sabores que incluye todos los sabores demandados por los consumidores y con la cual la planta trabajaría con un costo mínimo mensual de 83485,92 \$/mes.

Con este esquema de producción se compensa el costo por cliente perdido pues las ganancias de la empresa aumentan anualmente en 4372,56 CUC.

El complemento Solver de Excel es una herramienta rápida y eficiente para resolver problemas de programación lineal, además accesible y

de fácil comprensión para los operarios de cualquier planta de helados.

Referencias bibliográficas

1. MAYO, O. "Técnicas Básicas de Optimización". La Habana, Editorial Félix Varela, 2005. ISBN: 959-258-600-8.
2. BEVERIDGE G. S. "Optimization: Theory and practice". Nueva York, Editorial Advisory Board, ISBN: 07-005128-3.
3. BOIZÁN M. A. "Métodos de optimización". La Habana, Editorial Pueblo y educación, 1988, ISBN: 01-43070.
4. HIMMELBLAU, D. M; THOMAS F. E. "Optimization of Chemical Processes". Nueva York, Segunda Edición, Editorial Advisory Board, ISBN: 0-07-039359-1
5. BABU B. V. "Process Plant Simulation". India, Rani Book Binding, 2004, ISBN: 0-19-566805-7.
6. GASS S. I. "Programación Lineal: métodos y aplicaciones". La Habana, Edición revolucionaria, tercera impresión, 1966, ISBN: 58-6684.
7. MELLADO, F. M. "Diseño de Operaciones del servicio y pronóstico de demandas". Santiago de Chile, Editado por la Dirección de Gestión de Operaciones, Universidad de Santiago de Chile, 2011, ISBN: 4703-01.
8. CALDERÓN, G. "Análisis de Proceso para la optimización en la producción de helado". Trabajo de Diploma para optar por el Título de Ingeniero Químico, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría, La Habana, 2007.
9. COMET, R. *Evaluación tecnológica y análisis del surtido para la producción de bocaditos en el Centro de Elaboración de Boyeros y Camagüey*. Tesis presentada en opción al título de Master en Ingeniería Alimentaria, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría, La Habana, 2009.

10. SARIEGO, Y. Procedimiento general para la evaluación del proceso de remoción de calor en la elaboración de helados. *Revista Tecnología Química*. Santiago de Cuba, Universidad de Oriente, septiembre-diciembre de 2014, Vol. XXXIV (3), pp. 244-256, ISSN: 2224-6185.
11. SARIEGO, Y. Evaluación del empleo de un nuevo homogenizador en la fabricación de helado Coppelía de chocolate. *Revista Ciencia y Tecnología de Alimentos*, La Habana, Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria, septiembre-diciembre de 2011, Vol. 21(3), pp.4-8 , ISSN:0864-4497.