



CTSCAFE PARA CIUDADANOS.....

<http://www.ctscafe.pe>

ISSN 2521-8093



Volumen V- N° 13 Marzo 2021

<http://www.ctscafe.pe>

Lima - Perú

PLAN-DEMIA: Planeación de la producción de toneladas de plástico mediante la programación lineal: Uso del programa *Excel Solver* y *Lingo*



Dr. Pedro Pablo Rosales López
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: prosalesl@unmsm.edu.pe

Bach. Pablo Ernesto Chávarri Bazán
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: pablo.chavarri1@unmsm.edu.pe

42

Resumen: El objetivo de este artículo es mostrar cómo se selecciona la mejor alternativa de acción en un plan de producción en tiempos de pandemia, al combinar herramientas deterministas, como la programación lineal, con el análisis de decisiones terminales, tomando en cuenta criterios de elección no probabilistas y criterios de elección probabilistas en el análisis de decisiones. Para resolver el problema de programación lineal se utilizaron los softwares; Excel Solver y Lingo.

Palabras claves: Ingeniería/ Industria/ Investigación de operaciones/ Programación lineal/ Programación matemática/ Método simplex.

Abstract: The objective of this article is to show how the best alternative of action is selected in a production plan in times of pandemic, by combining deterministic tools, such as linear programming, with the analysis of terminal decisions, taking into account non-probabilistic selection criteria. and probabilistic choice criteria in decision analysis. To solve the linear programming problem, Excel Solver and Lingo software were used.

Keywords: Engineering/ Industry/ Operations research/ Linear programming/ Mathematical programming/ Simplex method.

Résumé : L'objectif de cet article est de montrer comment la meilleure alternative d'action est sélectionnée dans un plan de production en période de pandémie, en combinant des outils déterministes, comme la programmation linéaire, avec l'analyse des décisions terminales, en tenant compte de critères de sélection non probabilistes et critères de sélection probabilistes dans l'analyse décisionnelle. Pour résoudre le problème de programmation linéaire, un logiciel a été utilisé; Excel Solver et Lingo.

Mots-clés: Ingénierie / Industrie / Recherche opérationnelle / Programmation linéaire / Programmation mathématique / Méthode simplex.

1. Introducción

Durante este tiempo de pandemia, el cual ha llevado a muchas organizaciones a detener sus actividades por órdenes del gobierno, otros a solo producir las líneas de producción autorizadas, y otros por ser parte de la cadena de abastecimiento de productos de primera necesidad, las industrias se han visto en la necesidad de planear su producción para poder sobrevivir. Este es el caso de esta empresa de plásticos que forma parte de la cadena de abastecimiento para productos de alimentos y de farmacia, que busca mediante la programación lineal un apoyo para la optimización de su plan de producción.

Se le llama modelo de programación lineal al planteo matemático de aquello que está escrito verbalmente. En el problema de planeamiento de la producción mediante programación lineal, están presentes tres partes que componen todo problema y que son básicas para plantear y resolver este tipo de problemas. Estas partes son; las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones funcionales del modelo. (Moya, 2011)

1.2. Función objetivo

La función objetivo del modelo de planeamiento de la producción está expresada en términos de la ganancia total obtenida por la fabricación de los productos o bien por la suma de los costos variables de producción. Si los requerimientos de producción son variables, según lo indica el pronóstico de la demanda, entonces tiene sentido maximizar las ganancias totales obtenidas por el plan de producción; si el requerimiento de producción es fijo, conviene, por lo tanto, minimizar los costos variables de producción.

En esta primera parte del modelo matemático, debe determinarse la cantidad que se va a optimizar y expresarla como una función matemática. Necesariamente, para determinar esta función, deben identificarse claramente las variables que están actuando en el modelo.

La función objetivo siempre estará expresada en función de las variables de decisión X_1, X_2, \dots, X_n , las cuales representan por ejemplo, las cantidades de producción que deberán planearse por cada uno de los productos o servicios a producir.

Lo importante en este punto es dejar claro que para utilizar la programación lineal debe haber un objetivo o meta que la organización desea alcanzar. Los objetivos que frecuentemente se plantean están en términos de minimizar costos, maximizar utilidades, minimizar el tiempo total requerido por una actividad o un conjunto de actividades, minimizar distancias recorridas, etc. (Moya, 2011)

1.3. Restricciones funcionales

En el problema de planeamiento de la producción mediante programación lineal con incertidumbre deben identificarse todas las limitaciones estipuladas en el sistema que se está estudiando y expresarlas matemáticamente.

Se pueden definir varios tipos de restricciones, entre las que se incluyen restricciones de capacidad de producción, restricciones de fuerza laboral, restricciones de demanda mínima y máxima de los productos, restricciones de materiales y horas totales disponibles por periodo, entre otras.

El conjunto de restricciones que se origina, una por cada uno de los recursos limitados que tiene el sistema que está en estudio, constituye las llamadas restricciones funcionales. Esta etapa es la que se encarga de proporcionar los cursos de acción alternativos o decisiones, de las cuales una permite alcanzar el objetivo. (Moya, 2011)

1.4. Restricciones de no negatividad

El objetivo de este tipo de restricciones es expresar todas aquellas condiciones que a simple vista no se ven. Estas condiciones no están explícitamente en el problema, pero resultan evidentes físicamente. Por ejemplo, las tasas de producción no pueden ser negativas. Algunas veces se restringe a que estas tasas de producción sean enteras. En este paso es necesario estar en capacidad de expresar las decisiones del problema en términos de la estructura básica de la programación lineal, incorporándolas a la función objetivo y a las restricciones en términos de ecuaciones lineales.

En el planeamiento de la producción es frecuente que se necesite decidir cuáles recursos de la producción deben usarse, sean estos propios o alquilados, y en qué cantidad para satisfacer los requerimientos de demanda al menor costo posible. Moskowitz y Wright (1982) indican que este tipo de problemas de decisión es característicamente complejo, y que es casi imposible para un tomador de decisiones tener en cuenta todos los factores que inciden en la decisión simultáneamente.

Los autores también indican que el análisis de decisión proporciona un conjunto rico en conceptos y técnicas para ayudar al tomador de decisiones a tratar problemas de decisión complejos bajo incertidumbre y tiene que ver con la toma racional, principalmente bajo condiciones de incertidumbre. El objetivo es contestar la pregunta: ¿cuál es la mejor alternativa que se puede seleccionar?, esto con base en la información que se tiene ahora, la cual es casi siempre incompleta e incierta. (Moya, 2011)

2. Problema de planeamiento de la producción por resolver

Una empresa industrial de plástico desea saber las líneas de producción que le brindan mayores utilidades.

Debido a la crisis por la pandemia, la gerencia de la empresa quiere obtener ingresos mensuales (26 días laborables) de 8 horas diaria. Asimismo, por falta de personal quiere la fabricación de productos que a lo mucho necesite la utilización de tres máquinas (Procesos).

Para determinar los productos que se considerarían en el planeamiento, se utilizó el pronóstico de la demanda para los siguientes 12 meses, en la Tabla 1 se muestran los productos y procesos, con sus respectivos tiempos de máquina en minutos por kilogramo de plástico impreso.

Tabla N°1: Relación tiempos/Proceso en minutos (kg de plástico)

PRODUCTO	TIEMPO-MAQUINA MIN/KG		
	IMPRESIÓN-1	SELLADO-2	CORTE-3
FUNDAS-A	12	8	5
CÁPSULAS-B	7	9	10
ETIQUETAS-C	8	4	7
LÁMINAS TUB.-D	10	0	3
PRECINTOS-E	7	11	2

Fuente: Elaboración propia.

Los productos pasan por las tres máquinas y cada máquina estará disponible todas las horas del turno. Los precios de cada producto son de \$5, \$4, \$5, \$4, \$4 el kilo respectivamente. Los costos variables por hora de trabajo son \$4 para las máquinas 1 y 2, y \$3 para la máquina 3. Los costos de material para cada línea de producto son de \$2 para A y C, y \$1 para B, D y E por kilo.

- A = Número de kilos de plástico a producir del producto A.
- B = Número de kilos de plástico a producir del producto B.
- C = Número de kilos de plástico a producir del producto C.
- D = Número de kilos de plástico a producir del producto D.
- E = Número de kilos de plástico a producir del producto E.

La compañía cuenta con maquinaria que trabaja por horas, entonces debemos pasar esos tiempos en la misma unidad, quedando el cuadro, como se muestra en la tabla 2.

Tabla N°2: Relación tiempos/Proceso en horas (kg de plástico)

PRODUCTO	TIEMPO-MAQUINA H/KG		
	1	2	3
A	0.20	0.13	0.08
B	0.12	0.15	0.17
C	0.13	0.07	0.12
D	0.17	0.00	0.05
E	0.12	0.18	0.03

Fuente: Elaboración propia.

3. Modelo de planeamiento de la producción por resolver

Con base en la información anterior, el modelo de programación lineal planteado es el siguiente:

Como se observa, el modelo consta de cinco variables de decisión y tres restricciones por las horas de las tres máquinas, aparte el de la No negatividad.

Para sacar el máximo beneficio, debemos sacar la utilidad de cada producto, de la siguiente manera, primero obteniendo el costo variable total, multiplicando la hora*Kg de plástico por el costo variable de cada máquina, lo sumamos y se obtiene el costo variable total.

Tabla N°3: Relación Costo Variable Total por producto (kg de plástico)

PRODUCTO	COSTO TIEMPO-MAQUINA H/KG			COSTO VARIABLE TOTAL
	1	2	3	
A	0.80	0.53	0.25	1.58
B	0.47	0.60	0.50	1.57
C	0.53	0.27	0.35	1.15
D	0.67	0.00	0.15	0.82
E	0.47	0.73	0.10	1.30
COSTO VARIABLE	4	4	3	

Fuente: Elaboración propia.

A ello le sumamos el costo de material, para que se reste con el precio de venta, obteniendo la utilidad por kilo de producto.

Tabla N°4: Relación Utilidad por producto (kg de plástico)

COSTO VARIABLE TOTAL	COSTO MATERIAL	COSTO TOTAL	PRECIO	UTILIDAD
1.58	2	3.58	5	1.417
1.57	1	2.57	4	1.433
1.15	2	3.15	5	1.850
0.82	1	1.82	4	2.183
1.30	1	2.30	4	1.700

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos obtenemos el modelo de programación lineal, dado por la función objetivo maximizando utilidad, y las restricciones de los minutos por kilo en cada máquina y los minutos mensuales.

Tabla N°5: Modelo de programación lineal (kg de plástico)

MAX Z	=	1.417A+1.433B+1.850C+2.183D+1.700E
RESTRICCIONES		
12A+7B+8C+10D+7E	≤	12480
8A+9B+4C+11E	≤	12480
5A+10B+7C+3D+2E	≤	12480
A;B;C;D;E	≥	0

Fuente: Elaboración propia.

4. Procedimiento de solución del problema

Paso 1: Determinar el cuadro por horas y las horas de las restricciones.

Tabla N°6: Relación de tiempos y restricción (kg de plástico)

PRODUCTO	TIEMPO-MAQUINA H/KG		
	1	2	3
A	0.20	0.13	0.08
B	0.12	0.15	0.17
C	0.13	0.07	0.12
D	0.17	0.00	0.05
E	0.12	0.18	0.03
	208	208	208

Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Juntar las variables y las restricciones.

Tabla N°7: Relación de utilidad total por producto (kg de plástico)

PRODUCTO	TIEMPO-MAQUINA H/KG			PRODUCCIÓN	UTILIDAD	TOTAL UTILIDAD
	1	2	3			
A	0.20	0.13	0.08	1	1.417	1.417
B	0.12	0.15	0.17	1	1.433	1.433
C	0.13	0.07	0.12	1	1.850	1.850
D	0.17	0.00	0.05	1	2.183	2.183
E	0.12	0.18	0.03	1	1.700	1.700
	0.73	0.53	0.45	5		8.583

Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Resolver el problema.

En este paso se puede utilizar la solución de Solver, y los resultados se mostrarán en el campo que el modelo reservó para la solución.

En la Tabla 8, se puede apreciar los parámetros usados en Solver, dada la función objetivos, variables y restricciones.

Tabla N°8: Uso de Solver-Programación lineal (kg de plástico)

PRODUCTO	TIEMPO-MAQUINA H/KG		
	1	2	3
A	0.20	0.13	0.08
B	0.12	0.15	0.17
C	0.13	0.07	0.12
D	0.17	0.00	0.05
E	0.12	0.18	0.03
	208	208	208

PRODUCTO	TIEMPO-MAQUINA H/KG	PRODUCCIÓN	UTILIDAD	TOTAL UTILIDAD
	1	2	3	
A	0.00	0.00	0.00	0
B	0.00	0.00	0.00	0
C	0.00	0.00	0.00	0
D	0.00	0.00	0.00	0
E	0.00	0.00	0.00	0
	0.00	0.00	0.00	0

48

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9, Solver encuentra una solución, cumpliendo todas las restricciones y condiciones óptimas.

Tabla N°9: Búsqueda de solución óptima en Solver (kg de plástico)

PRODUCTO	TIEMPO-MAQUINA H/KG		
	1	2	3
A	0.20	0.13	0.08
B	0.12	0.15	0.17
C	0.13	0.07	0.12
D	0.17	0.00	0.05
E	0.12	0.18	0.03
	208	208	208

PRODUCTO	TIEMPO-MAQUINA H/KG	PRODUCCIÓN	UTILIDAD	TOTAL UTILIDAD
	1	2	3	
A	0.00	0.00	0.00	0
B	0.00	0.00	0.00	0
C	0.00	0.00	0.00	0
D	0.00	0.00	0.00	0
E	0.00	0.00	0.00	0
	0.00	0.00	0.00	0

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 10, es la solución que Solver nos ha dado, teniendo como informe administrativo que nuestra máxima utilidad será de 2953.60 unidades monetarias y que nuestra producción ideal son los productos C y E con 832 kilos cada uno.

Tabla N°10: Solución óptima de producción (kg de plástico)

PRODUCTO	TIEMPO-MAQUINA H/KG			PRODUCCIÓN	UTILIDAD	TOTAL UTILIDAD
	1	2	3			
A	0.00	0.00	0.00	0	1.417	0.000
B	0.00	0.00	0.00	0	1.433	0.000
C	110.93	55.47	97.07	832	1.850	1539.200
D	0.00	0.00	0.00	0	2.183	0.000
E	97.07	152.53	27.73	832	1.700	1414.400
	208.00	208.00	124.80	1664		2953.600

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 11, Lingo nos da el mismo resultado.

Tabla N°11: Solución óptima del software Lingo (kg de plástico)

Variable	Value	Reduced Cost	Global optimal solution found.	
A	0.000000	1.391067	Objective value:	2961.088
B	0.000000	0.2474333	Infeasibilities:	0.000000
C	832.0000	0.000000	Total solver iterations:	4
D	0.000000	0.9183333E-01	Elapsed runtime seconds:	0.11
E	832.0000	0.000000	Model Class:	LP
Row	Slack or Surplus	Dual Price	Total variables:	5
1	2961.088	1.000000	Nonlinear variables:	0
2	0.000000	0.2274833	Integer variables:	0
3	0.000000	0.9783333E-02	Total constraints:	4
4	4992.000	0.000000	Nonlinear constraints:	0
			Total nonzeros:	19
			Nonlinear nonzeros:	0

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al resultado que nos da Solver como solución, nos indica que debemos centrarnos en esas dos líneas de productos, sin embargo, estas dos líneas se producen tanto para el rubro alimenticio como el farmacéutico, claves de esta pandemia, entonces necesitamos saber cuántas toneladas debemos fabricar y cuánto es que tenemos que derivar para ambos sectores, teniendo como datos que:

Cada tonelada de plástico alimentario requiere 2h de impresión y 1h de control de calidad, obteniendo una utilidad de \$3. Por otro lado, cada tonelada de plástico farmacéutico requiere de 1h de impresión y 1h de control de calidad, obteniendo una utilidad de \$2. La empresa puede disponer de toda su materia prima utilizando 100h de impresión y 80h de control de calidad. Aparte la demanda de toneladas de plástico farmacéutico puede ser cualquiera, pero en el caso de toneladas de plástico alimentario es como mucho 40.

5. Procedimiento de solución del segundo problema

Paso 1: Determinar los datos del plan de producción de plástico en toneladas, definiendo variables y recursos.

Tabla N°12: Plan de producción (Tm de plástico)

Plan: Producción de plástico en toneladas

Objetivo: Maximizar ganancias	
Recursos	Otras Restricciones
100 Hrs/de Impresión	La demanda de producción de plástico para alimentos, está limitada a 40 toneladas.
80 Hrs/ de Control de Calidad	
Actividades	
Cantidad de Producción de plástico para productos alimenticios= X_1	
Cantidad de Producción de plástico para productos farmacéuticos= X_2	

Fuente: Elaboración propia.

50

Paso 2: Realizar el modelo matemático de programación lineal en Excel.

Tabla N°13: Modelo de Programación lineal (Tm de plástico)

Modelo Matemático de Programación Lineal

MAX Z (utilidad total)	$3X_1 + 2X_2$	
RESTRICCIONES		
100 HRS/ de Impresión	$2X_1 + 1X_2$	≤ 100
80 HRS/ de Control de Calidad	$1X_1 + 1X_2$	≤ 80
Demanda plástico-alimentos	X_1	≤ 40

Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Realizar el modelo matemático de programación lineal en Excel Solver.

Tabla N°14: Modelo matemático Programación lineal a usar en Solver (Tm de plástico)

Modelo matemático de Programación Lineal (Solver)

MAX Z (utilidad total)	0		
X1	X2		
Restricciones	Lado Izquierdo	Signo	Lado Derecho (Límite)
100 Hrs/ de Impresión	0	<=	100
80 Hrs/ de Control de calidad	0	<=	80
Demanda de plástico-alimentos	0	<=	40

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 15, se puede apreciar los parámetros usados en Solver, dada la función objetivos, variables y restricciones.

Tabla N°15: Parámetros usados en Solver (Tm de plástico)

The screenshot shows the 'Parámetros de Solver' dialog box in Excel. The 'Establecer objetivo' field is set to '\$E\$14'. The 'Para' options are set to 'Máx'. The 'Cambiando las celdas de variables' field is set to '\$D\$17:\$E\$17'. The 'Sujeto a las restricciones' list contains three entries: '\$E\$20 <= \$G\$20', '\$E\$21 <= \$G\$21', and '\$E\$22 <= \$G\$22'. The 'Convertir variables sin restricciones en no negativas' checkbox is checked. The 'Método de resolución' is set to 'Simplex LP'. The spreadsheet in the background shows the same linear programming model as in Table 14.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16, Solver encuentra una solución, cumpliendo todas las restricciones y condiciones óptimas. Nos indica que nuestra máxima utilidad será de 180.00 unidades monetarias y que nuestra producción ideal en esta pandemia es fabricar 20 toneladas de plástico para el sector alimenticio y 60 toneladas de plástico para el sector farmacéutico.

Tabla N°16: Búsqueda de solución óptima en Solver (Tm de plástico)

	C	D	E	F	G
10					
11					
12		Modelo matemático de Programación Lineal (Solver)			
13					
14		MAX Z			180
15		(utilidad total)			
16		X1	X2		
17		20	60		
18					
19		Restricciones	Lado Izquierdo	Signo	Lado Derecho (Limite)
20		100 Hrs/ de Impresión	100	<=	100
21		80 Hrs/ de Control de calidad	80	<=	80
22		Demanda de plástico-alimentos	20	<=	40

Resultados de Solver

Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.

Conservar solución de Solver
 Restaurar valores originales

Volver al cuadro de diálogo de parámetros de Solver

Informes de esquema

Aceptar Cancelar Guardar escenario...

Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.

Al usar el motor GRG, Solver ha encontrado al menos una solución óptima local. Al usar Simplex LP, significa que Solver ha encontrado una solución óptima global.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 17, es la solución que Solver nos ha dado, teniendo como informe de análisis de sensibilidad.

Tabla N°17: Solución óptima y análisis de sensibilidad en Solver (Tm de plástico)

52

Celdas de variables

Celda	Nombre	Final Valor	Reducido Coste	Objetivo Coeficiente	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
\$D\$17	X1 Alimenticio	20	0	3	1	1
\$E\$17	X2 farmacéutico	60	0	2	1	0.5

Restricciones

Celda	Nombre	Final Valor	Sombra Precio	Restricción Lado derecho	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
	100 Hrs/ de Impresión Lado Izquierdo	100	1	100	20	20
	80 Hrs/ de Control de calidad Lado Izquierdo	80	1	80	20	20
	Demanda de plástico-alimentos Lado Izquierdo	20	0	40	1E+30	20

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 18, Lingo nos da el mismo resultado.

Tabla N°18: Solución óptima del software Lingo (Tm de plástico)

Global optimal solution found.		
Objective value:		180.0000
Infeasibilities:		0.000000
Total solver iterations:		2
Elapsed runtime seconds:		0.06
Model Class: LP		
Total variables:	2	
Nonlinear variables:	0	
Integer variables:	0	
Total constraints:	4	
Nonlinear constraints:	0	
Total nonzeros:	7	
Nonlinear nonzeros:	0	
Variable Value Reduced Cost		
X1	20.00000	0.000000
X2	60.00000	0.000000
Row Slack or Surplus Dual Price		
1	180.0000	1.000000
HORASIMP	0.000000	1.000000
HORASCC	0.000000	1.000000
DEMPLASTALI	20.00000	0.000000

Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

El desarrollo de las técnicas de investigación de operaciones, con todas sus herramientas, permite optimizar el plan de producción para el mejor aprovechamiento de los recursos y maximizar utilidades. En ese sentido, la aplicación de herramientas matemáticas y utilización de software especializado permite obtener fácilmente soluciones óptimas para la toma de decisiones en la formulación y manufactura de toneladas de plástico.

Asimismo, de acuerdo a la solución que nos brinda Solver para el análisis de sensibilidad, nos indica un rango predecible, para que el resultado ideal se calcule con tres estimaciones, el más probable, pesimista y optimista. Tal enfoque resulta útil para determinar cuál alternativa, entre otras, es mejor. En todos estos análisis se supone que existe independencia entre los parámetros.

6. Literatura Citada

- Hillier, F. y Lieberman, G.** (2006). Introducción a la Investigación de Operaciones. (ed. 8) México: Editorial Mc Graw Hill.
- Moskowitz, H. y Wright, G.** (1982). Investigación de Operaciones. México: Editorial Prentice Hall.
- Moya, M.** (1995). Probabilidad y Estadística: Un Enfoque Teórico y Práctico. Cartago: Editorial Tecnológica.
- Moya, M.** (1998). Investigación de Operaciones. La Programación Lineal. (3 ed.) San José: Editorial UNED.
- Sipper, D. y Bulfin, R.** (1998) Planeación y Control de la Producción. México: Editorial Mc Graw Hill.
- Moya, M.** (2011). Planeación de la producción mediante la programación lineal con incertidumbre: Uso del programa OR Brainware Decision Tools. Tecnología en marcha, 24(4), 85-95. Recuperado el 02 de noviembre de 2020 de la base de datos Dialnet, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835573>

REVISTA DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA



<http://www.ctscafe.pe>

Volumen V- N° 13 Marzo 2021

*Contáctenos en nuestro correo electrónico
revistactscafe@ctscafe.pe*

177

Página Web:
<http://ctscafe.pe>

Blog:
<https://ctscafeparaciudadanos.blogspot.com/>

Facebook
<https://www.facebook.com/Revista-CTSCafe-1822923591364746/>