



MÉTODO DE PLANIFICACIÓN PRODUCTIVA PARA MÁXIMA GANANCIA EN UNA FÁBRICA DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

PRODUCTIVE PLANNING METHOD FOR MAXIMUM PROFIT IN A FOOD PRODUCTION FACTORY

Héctor Eduardo Sánchez Vargas¹  Yixy Ávila Suarez¹  Carmen Minaya Agüero² 

¹Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte Loynaz”, Cuba

²Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú.

Correspondencia:

Dr. C. Héctor Eduardo Sánchez Vargas
hector.sanchez@reduc.edu.cu

Como citar este artículo: Sánchez, H., Ávila, Y., & Minaya, C. (2024). MÉTODO DE PLANIFICACIÓN PRODUCTIVA PARA MÁXIMA GANANCIA EN UNA FÁBRICA DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS. (n.d.). *Revista De Investigación Científica Huamachuco*, 2(2), 19-35. <https://doi.org/10.61709/zj403w95>

RESUMEN

El desempeño de una fábrica de producción de alimentos enfrenta importantes retos, tales como exigencias regulatorias y el carácter perecedero de la mayoría de las materias primas empleadas durante la elaboración. La planificación productiva juega un importante papel en la mitigación de los efectos relacionados con la caducidad de las materias primas y productos. El objetivo de este estudio fue diseñar un método de planificación productiva basado en la investigación de operaciones, que emplea el SOLVER de Excel y el algoritmo Simplex como soluciones del problema de Programación Lineal, generadas con la aplicación del referido método. En la hoja de Excel donde se formuló la optimización, se definieron función objetivo y restricciones que han sido establecidas sobre la base de limitaciones de capacidades productivas, mercado, disponibilidad de materias primas y financiamiento. La aplicación del método permite determinar el valor de la máxima ganancia, las cantidades de productos a fabricar, el presupuesto que debe ejecutarse y las materias primas que se deben comprar. Este método propuesto es flexible y fácilmente aplicable, demuestra su capacidad como herramienta de planificación productiva, con una interfaz amigable y con facilidades, para vincular hojas de cálculos provenientes de diferentes áreas empresariales.

Palabras clave: planificación productiva, industria alimenticia, optimización, programación lineal

ABSTRACT

The performance of a food production plant faces important challenges, such as regulatory requirements and the perishable nature of most of the raw materials used during manufacturing. Production planning plays an important role in mitigating the effects related to the expiration of raw materials and products. The aim of this study was to design a production planning method based on operations research, which uses Excel's SOLVER and the Simplex algorithm as solutions to the Linear Programming problem, generated by applying the above-mentioned method. In the Excel sheet where the optimization was formulated, the objective function and restrictions were defined, which have been established based on limitations of



production capacities, market, availability of raw materials and financing. The application of the method allows determining the value of the maximum profit, the quantities of products to be manufactured, the budget to be executed and the raw materials to be purchased. This proposed method is flexible and easily applicable, demonstrating its capacity as a production planning tool, with a user-friendly interface and facilities to link spreadsheets from different business areas.

Keywords: production planning, food industry, optimization, linear programming

INTRODUCCIÓN

Las fábricas de producción de alimentos, además de las rigurosas regulaciones de higiene e inocuidad que deben cumplir, sufren un riesgo adicional relacionado con el carácter perecedero de la mayoría de las materias primas que emplea. Este elemento obliga a los directivos a establecer un conjunto de estrategias encaminadas a reducir los riesgos relacionados con el deterioro de dichas materias primas y las consecuencias que esto pudiera provocar en la calidad del producto final y en cuanto a las pérdidas económicas que pudiera ocasionar.

Entre las estrategias más empleadas para mitigar los efectos del carácter perecedero de las materias primas están las relacionadas con la introducción de modelos matemáticos para la gestión de inventarios (Escobar et al., 2017; Ordoñez et al., 2015; Pérez y Torres, 2014; Xue et al., 2019), la optimización de los ciclos de aprovisionamiento (García y You, 2015; Kehinde et al., 2020; Li, 2022) y la planificación de la producción empujando técnicas de investigación de operaciones bajo principios de inventarios mínimos y máximo aprovechamiento de los recursos en existencias.

La investigación de operaciones ha sido ampliamente utilizada para la planificación de la producción, especialmente cuando se planifican los requerimientos de materiales y los recursos de fabricación (Arango et al., 2010; Jablonsky y Skocdopolova, 2017; Mahecha, 2018; Mula et al., 2014; Mula et al., 2006; Ortiz y Caicedo, 2014; Vasquez et al., 2015; Viveros y Salazar, 2010). Esta área de la planificación ha sido tipificada y conocida

internacionalmente como MRP por sus siglas en inglés. El método de solución más usado para este fin ha sido la programación lineal, que también es el más universal entre los métodos que se incluyen dentro de la investigación de operaciones (Taha, 2012).

Otra característica específica entre las fábricas productoras de alimentos es que emplean habitualmente líneas productivas flexibles que tienen las capacidades necesarias, para elaborar varios productos similares a través de la misma secuencia de operaciones y en los mismos equipos, conocidas como plantas multi productoras (Scenna et al., 2015)-°.

La planificación productiva para plantas multi productoras adquiere una complejidad adicional y se hace necesario, de acuerdo con las capacidades tecnológicas, las demandas de productos y la disponibilidad de materias primas, entre otros elementos, determinar un conjunto de variables de decisión que se incluyen dentro de dicha planificación productiva. Entre estas variables se tienen: (1) los productos que se deberían fabricar, (2) las cantidades de estos, (3) las cantidades de materias primas que se deben adquirir y (4) el presupuesto necesario para la adquisición de las materias primas.

Un modelo de programación lineal para la solución de este tipo de problemas puede alcanzar gran envergadura y complejidad matemática. Se convertiría en un problema de optimización, que además de la función objetivo, tendría un elevado número de restricciones en forma de inecuaciones



lineales cuya cantidad depende del número de materias primas y productos involucrados. Otras restricciones, que también se convertirían en inecuaciones, pudieran estar relacionadas con las limitaciones relacionadas con el tiempo disponible para la producción, las demandas y los presupuestos, entre otros.

Es evidente que la solución de este tipo de problemas no es algo trivial. Se requiere necesariamente la aplicación de herramientas informáticas y softwares especializados. Entre los más utilizados se tienen a los softwares PQM, CPLEX, CyberPlan, MINUS, Excel, CPLEX, C y el Lindo (Díaz et al., 2014)ml, entre otros.. Aunque todos han sido aplicados exitosamente para resolver problemas de planificación, no siempre son adaptables cabalmente a las condiciones específicas de la producción. De forma general, muchos de ellos deben mejorar en cuanto a la interfaz con el usuario y a la integración con bases de datos y sistema de planificación de recursos empresariales (Harjunkoski et al., 2014).

Esta investigación ha tomado como caso de estudio a una de las fábricas productivas de una empresa industrial alimentaria. Se refiere a una planta multi productora que opera con una cartera de productos, cuya producción se realiza desfasada en el tiempo para cada una de las nomenclaturas en una línea tecnológicamente flexible. Los directivos de la entidad se han propuesto realizar las planificaciones productivas ajustadas a las circunstancias imperantes en el periodo en curso, que parta de la demanda de los clientes y que tenga en cuenta las existencias de las materias primas y el presupuesto disponible para las compras de estas.

Este método de planificación debe cumplir como condicionantes: (1) que garantice bajos niveles de inventarios de las materias primas, (2) que sea aplicable a fábricas multi productoras y (3) que la herramienta computacional que la sustente se ajuste a las condiciones de la producción, con

una interfaz amigable y que permita integrar las diferentes áreas empresariales que tributan al proceso de planificación.

A partir de la política empresarial establecida por los directivos de la empresa, el objetivo de este estudio fue diseñar un método de planificación de la producción que permita obtener la máxima ganancia posible de la fábrica de productos alimenticios, para las circunstancias del periodo que se planifica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El método de planificación de la producción que se ha diseñado parte de la solución de un problema de optimización cuya función objetivo tiene como variable respuesta a la ganancia que se desea maximizar. Las restricciones implícitas en dicho problema representan limitaciones de demandas comerciales, capacidades de la línea productiva, disponibilidad de materias primas, y presupuesto para la compra de dichas materias primas. Todas estas limitaciones se representan como restricciones en forma de inecuaciones.

Siendo la función objetivo una ecuación lineal que relaciona las variables independientes con la variable respuesta ya referida, cuando las restricciones están representadas también por ecuaciones o inecuaciones lineales, el modelo formulado es un típico modelo de programación lineal (Hillier y Lieberman, 1997), que fue resuelto en este caso empleando el algoritmo Simplex y la herramienta SOLVER del Excel.

Partiendo de la propia optimización corrida con el SOLVER, el método de planificación de la producción que se presenta fue concebido empleando el propio Excel. Esta herramienta se adapta eficazmente a las características del problema a resolver, al mismo tiempo que posee una adecuada interfaz con el usuario, versatilidad y sobre todas las cosas, tiene la capacidad para integrarse con bases de datos de

las diferentes áreas de la empresa que tributan a la planificación productiva.

Las variables independientes incluidas en la función objetivo están constituidas por las cantidades de productos a elaborar en el periodo productivo que pudieran garantizar la máxima ganancia. Estas variables constituyen también las variables de decisión del problema de optimización.

Estas cantidades definitivas de productos con la corrida del SOLVER de Excel, en la propia hoja de cálculo, se determinarán las cantidades de materias primas que deben ser adquiridas a partir de las normas de consumo y las existencias de materias primas, a la hora de ejecutar el plan productivo.

Además de la información anterior, se presentan los siguientes datos y consideraciones sobre caso de estudio de esta investigación:

- Periodo de tiempo a planificar: un mes, que se ha tomado como referencia en la presentación del caso de estudio.
- Se dispone de un tiempo para la producción de 480 h dentro del mes que se planifica, a razón de 16 horas diarias durante 30 días de operación.
- La unidad de medida de las cantidades de producto a fabricar es en todos los casos la tonelada (t).
- En el periodo se pueden fabricar hasta 10 nomenclaturas de productos que pudieran consumir hasta 15 materias primas diferentes.
- Se utiliza el dólar estadounidense (USD) como moneda.
- Se dispone inicialmente de 50 000 USD para la compra de las materias primas a utilizar en el periodo productivo.
- Se supone que, siempre que se cuente con presupuesto para la adquisición de materias primas, los procesos logísticos para el

suministro de materias primas no restringen el incremento de los niveles productivos.

El subíndice i se refiere a un producto específico, mientras que el subíndice j se refiere a una materia prima específica. De manera que i toma valores desde $i=1, 2, \dots, I$ y j cambia desde $j=1, 2, \dots, J$, donde $I=10$ y $J=15$.

Formulación del problema de optimización

Función objetivo

La función objetivo relaciona la ganancia que se maximiza con la variable independiente (X_i). Esta se refiere a las cantidades de cada i producto que maximiza la ganancia. En la ecuación 1 se representa dicha función objetivo.

$$\text{Max } G = \sum_{i=1}^I (P_i - C_i) X_i \quad (1)$$

Donde, G es la ganancia que se quiere maximizar, mientras que P_i y C_i son el precio de venta y el costo de producción del producto i respectivamente.

Restricciones

Las restricciones que se definen en el problema de optimización constituyen expresiones matemáticas que limitan el crecimiento de la ganancia como variable respuesta que se quiere maximizar. Comúnmente, en este tipo de problemas, son consideradas restricciones de capacidad productiva dadas por recursos físicos o humanos insuficientes, tales como cuellos de botella por baja capacidad de un equipamiento o falta de personal. También son consideradas en la literatura especializada restricciones de mercado y disponibilidad de recursos materiales (López, Castro, & Guerra, 2017; Romero, Ortiz, & Caicedo, 2019; Zambrano, Soto, & Ugalde, 2021).

Además, en este trabajo se consideran restricciones de disponibilidad de recursos financieros, para

la compra de materias primas; mientras que, se asume que la disponibilidad del personal y el salario no limitan los niveles de producción y el incremento de la ganancia para las condiciones y capacidad de la línea productiva.

Restricciones de capacidades productivas

Esta restricción expresa que el tiempo invertido para fabricar todos los productos planificados en el periodo productivo no debe ser superior al tiempo disponible TD para la producción en dicho periodo. Matemáticamente se define según la ecuación 2, que incluye una sumatoria de las normas de tiempo (NT_i) por las cantidades de cada i producto (X_i).

$$\sum_{i=1}^I (NT_i \cdot X_i) \leq TD \quad (2)$$

Restricciones de mercado

Estas restricciones están constituidas por $I=10$ inecuaciones, una por cada producto considerado en el caso de estudio, que se obtienen a partir de la ecuación general 3. El miembro izquierdo de la inecuación está integrado por un número de términos igual a la cantidad de los k clientes que demandan el producto i . De esta manera se define $D_{i,k}$ a como la cantidad del producto i que demanda el cliente k .

Esta restricción expresa que no se deben producir más cantidades de productos que las demandadas.

$$\sum_{k=1}^K (D_{i,k}) \leq X_i \quad (3)$$

Restricciones por disponibilidad de materias primas.

Estas restricciones están constituidas por $J=15$ inecuaciones, una por cada materia prima que consumen los productos a fabricar. Estas inecuaciones se obtienen a partir de la ecuación general 4.

El miembro izquierdo de la inecuación está integrado por un número de términos igual a la cantidad de los i productos que consumen las j materias primas. El coeficiente $NC_{j,i}$ de cada término se define como la norma de consumo de la materia prima j por el producto i , mientras que M_j es la cantidad disponible para la producción de la materia prima j , ya sea porque se encuentra en existencia en almacén o porque se puede adquirir sin dificultad de manera que no limite la producción.

Esta restricción expresa que no se pueden consumir más cantidades de materias primas que las disponibles.

$$\sum_{i=1}^I (NC_{j,i} \cdot X_i) \leq M_j \quad (4)$$

Restricciones de financiamiento

Esta restricción expresa que el financiamiento invertido en la compra de las materias primas que se requieren para el periodo productivo no puede ser mayor que el presupuesto disponible (PD). Matemáticamente se define según la ecuación 5, que incluye una sumatoria de los precios (P_j) por las cantidades a comprar de cada j materia prima (MC_j). En este caso, el valor de es igual a 50 000 USD.

$$\sum_{j=1}^J (P_j \cdot MC_j) \leq PD \quad (5)$$

Restricciones de no negatividad

Para todo problema de programación lineal se definen las restricciones de no negatividad de las variables de decisión, que en este caso se representa por la ecuación 6.

$$X_i \geq 0 \quad (6)$$

A partir del modelo formulado, que se representa por la función objetivo y el conjunto de las

restricciones, se identificaron como parámetros del modelo a P_i y C_i , cuya diferencia constituyen los coeficientes de las cantidades X_i en la función objetivo. También son parámetros los valores de TD , NT_i , $D_{i,k}$, $NC_{j,i}$, PD y P_j .

Todos estos parámetros son valores conocidos con anterioridad a la optimización y que fueron tomados de la hoja correspondiente de Excel según el área empresarial que lo genera. Los precios, costos y presupuestos se tomaron del área económica, las demandas del área comercial, las normas de consumo y de tiempo del área técnica y el tiempo disponible del área productiva.

Las cantidades de materias primas a comprar (MC_j) y las disponibles (M_j) no son conocidos previamente, ya que sus valores dependen de las cantidades de productos (X_i), que son las incógnitas del problema de optimización. Esta situación

fue resuelta incluyendo a MC_j como variable a manipular durante la corrida del SOLVER de Excel, lo que requirió considerar su valor como no negativo ($MC_j \geq 0$). Posteriormente se programó la determinación de M_j según la ecuación 7, que define a las materias primas disponible como la suma de las existentes y las compradas.

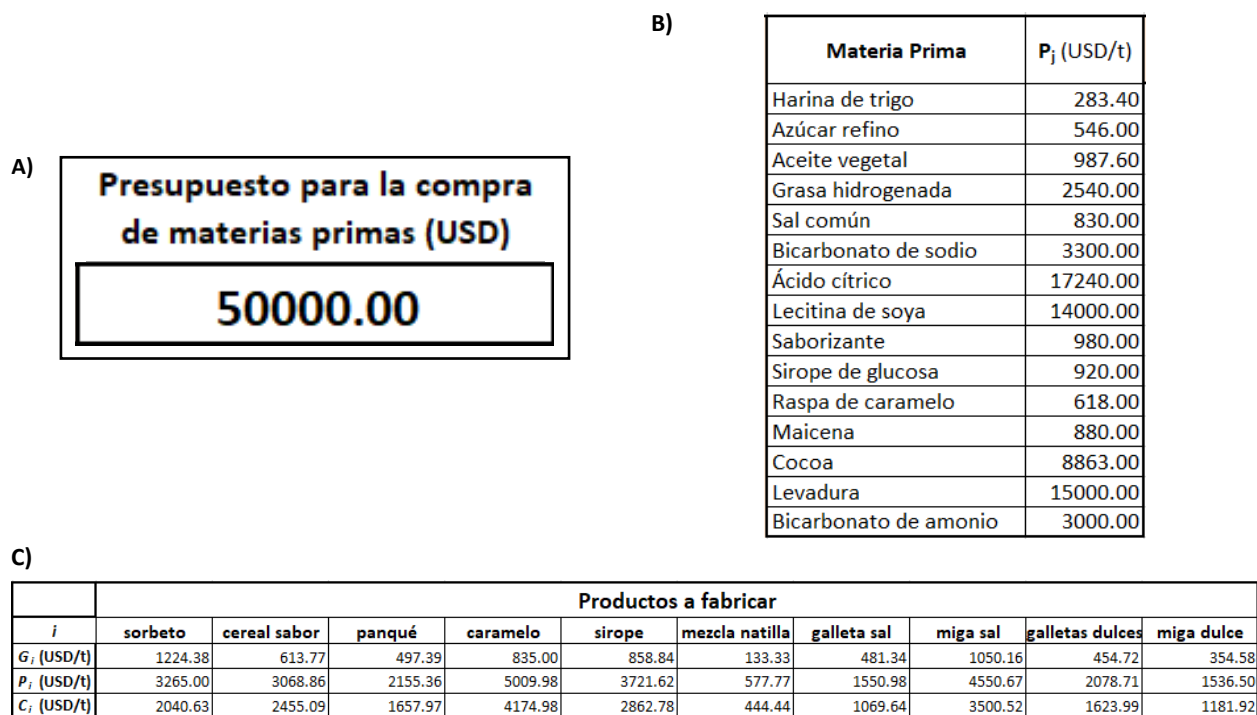
$$M_j = EO_j + MC_j \quad (7)$$

Preparación computacional

La preparación computacional incluye el vínculo de la hoja de Excel desde donde se ejecuta el SOLVER con las hojas que consolidan los datos en las diferentes áreas de la empresa. En la figura 1 se presentan las secciones preparadas de las hojas de Excel en las que se dispone de los datos que aporta para la planificación el área económica de la empresa.

FIGURA 1

Datos que aporta el área económica de la empresa



Nota: a) Presupuesto, b) Precios de las materias primas, .c) Precios, costos y ganancias unitarias de los productos

En la Figura 2 se muestra una tabla de Excel en la que se presentan las demandas totales de los productos a fabricar que pertenecen al mes tomado como caso de estudio. Esta tabla es consolidada por el área comercial en la que se calcula la demanda total, como la suma de las demandas de los k clientes que demandan el producto i .

FIGURA 2

Demandas totales de los productos a fabricar en el mes caso de estudio

Demanda total de los productos de la fábrica D_i (t/mes)									
sorbeto	cereal sabor	panqué	caramelo	sirope	mezcla natilla	galleta sal	miga sal	galletas dulces	miga dulce
18.83	19.21	17.34	6.58	20.02	14.91	31.58	4.55	21.34	5.21

Durante el proceso de diseño de los productos y el desarrollo tecnológico, en el área técnica de la empresa se calcularon las normas de tiempo y consumo material que se presentan en la Figura 3 y que forman parte de los datos necesarios para la aplicación del método de planificación que se ha concebido.

FIGURA 3

Normas de consumo y de tiempo de los productos a fabricar en el periodo aportados por el área técnica de la empresa

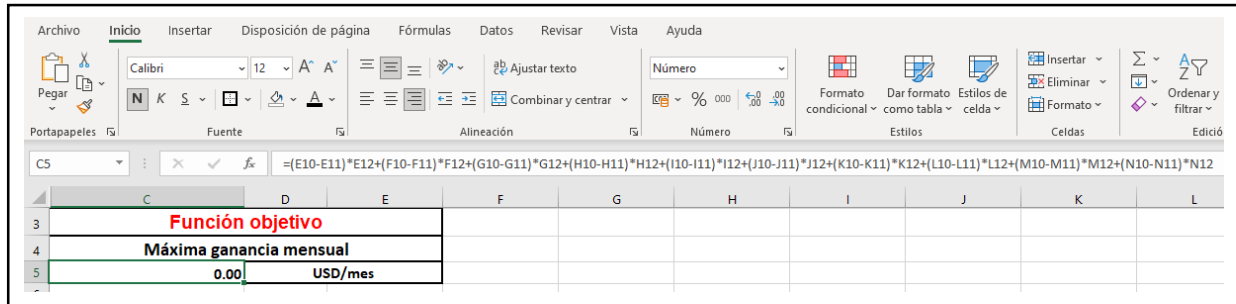
	Productos a fabricar									
	sorbeto	cereal sabor	panqué	caramelo	sirope	mezcla natilla	galleta sal	miga sal	galletas dulces	miga dulce
Materia Prima	Normas de consumo NC_{ij} (t de MP/t de producto)									
Harina de trigo	0.614	0.614	0.448	0.003	0.000	0.000	1.049	1.049	0.721	1.721
Azúcar refinado	0.416	0.416	0.348	0.975	0.000	0.765	0.010	0.010	0.010	0.062
Aceite vegetal	0.026	0.026	0.040	0.007	0.000	0.000	0.052	0.052	0.168	0.168
Grasa hidrogenada	0.260	0.260	0.025	0.000	0.000	0.000	0.052	0.052	0.000	0.000
Sal común	0.004	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.036	0.036	0.007	0.007
Bicarbonato de sodio	0.002	0.002	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005
Ácido cítrico	0.001	0.001	0.002	0.004	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lecitina de soya	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
Saborizante	0.002	0.002	0.002	0.004	0.012	0.003	0.000	0.000	0.002	0.002
Sirope de glucosa	0.000	0.000	0.000	0.253	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Raspa de caramelo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.867	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Maicena	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.263	0.000	0.000	0.000	0.000
Cocoa	0.036	0.036	0.000	0.000	0.000	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000
Levadura	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.000	0.000
Bicarbonato de amonio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002
Normas de tiempo Nt_i (h/t)	14.86	34.68	2.42	5.52	17.88	1.60	6.50	29.63	5.72	30.05

La hoja de Excel desde donde se ejecuta el SOLVER fue preparada para su uso por el área productiva de la empresa, encargada de la planificación de la producción. Desde esa hoja de Excel se realiza el vínculo con las hojas de cálculo que provienen de las otras áreas de la empresa y se actualizan los datos que tributan al referido proceso de planificación, los que han sido presentados en las Figuras 1, 2 y 3.

En la figura 4 se presenta la sección de la hoja de Excel donde se ha formulado la función objetivo.

FIGURA 4

Formulación de la función objetivo en la hoja de Excel desde donde se ejecuta el SOLVER para la optimización



Se puede observar que, en la barra de fórmulas, ubicada en la celda C5, se ha definido la función objetivo representada en la ecuación 1. Los precios y costos unitarios, que constituyen parámetros del modelo, se toman en las celdas desde la E10 y E11 hasta las celdas N10 y N11 respectivamente; mientras que, desde las celdas correspondientes a la fila 12 se toman los valores de las cantidades a fabricar de cada producto, variables de decisión que inicialmente, antes de la optimización, tienen valor cero.

En la hoja de Excel desde donde se optimiza, se prepararon secciones que permitieron programar las restricciones definidas por las ecuaciones 2, 3, 4 y 5. De esta manera, en la celda P37 se calculó la sumatoria $\sum_{i=1}^I (NT_i \cdot X_i)$ que se corresponde con la restricción de capacidades productivas (ecuación 2), la que junto a la celda Q37 que contenía el valor de TD, permitió establecer dicha restricción en el SOLVER.

La comparación de las celdas desde la E12 hasta la N12, que contenían los valores de las cantidades de productos (X_i) con las respectivas celdas desde la E15 hasta la N15, que contenían los valores de las demandas totales de los productos, permitió establecer en el SOLVER las restricciones de mercado (ecuación 3).

En las celdas desde la O19 hasta la O33 se calcularon las sumatorias $\sum_{i=1}^I (NC_{j,i} \cdot X_i)$, que constituyen las cantidades de cada j materia prima requerida implícita en las restricciones de disponibilidad de materias primas (ecuación 4). Estos valores, junto a los respectivos contenidos en las celdas desde la R19 hasta la R33, correspondientes a la cantidad de materia prima disponible, permitieron establecer en el SOLVER las restricciones de disponibilidad de materias primas. Estos últimos valores fueron obtenidos a partir de la ecuación 7, como la suma de las cantidades existentes y las cantidades compradas.

En la celda W18 se calculó la sumatoria $\sum_{j=1}^J (P_j \cdot MC_j)$ que se corresponde con la restricción de financiamiento (ecuación 5), la que junto a la celda W17 que contenía el valor de PD, permitió establecer en el SOLVER la referida restricción de financiamiento.

La definición de la función objetivo y las restricciones en la hoja de Excel, tal como se ha explicado, permitió realizar la optimización implícita en el método de planificación concebido. En la Figura 5 se presenta la preparación para dicha optimización empleando la herramienta SOLVER de Excel.

FIGURA 5

Preparación de la optimización empleando la herramienta SOLVER de Excel

Como parámetros del SOLVER mostrados en la Figura 5 se especifica la celda C5, para establecer el objetivo, cambiando los valores de las celdas desde la E12 hasta la AC12.

Las celdas desde la E12 hasta la N12 se corresponden con las cantidades de productos a fabricar; mientras que, las celdas desde la O12 hasta la AC12 se corresponden con las cantidades de materias primas a comprar. Como se ha explicado anteriormente, ambas variables se definen como variables a manipular, lo que requiere declararlas como no negativas, algo que se realiza en el SOLVER marcando la casilla “Convertir variables sin restricciones en no negativas”.

Finalmente, se detallan cada una de las restricciones del modelo y el método de solución, que para este caso se ha seleccionado el método Simplex. De esta manera, el SOLVER queda listo para la optimización y la obtención de los primeros resultados del proceso de planificación productiva.

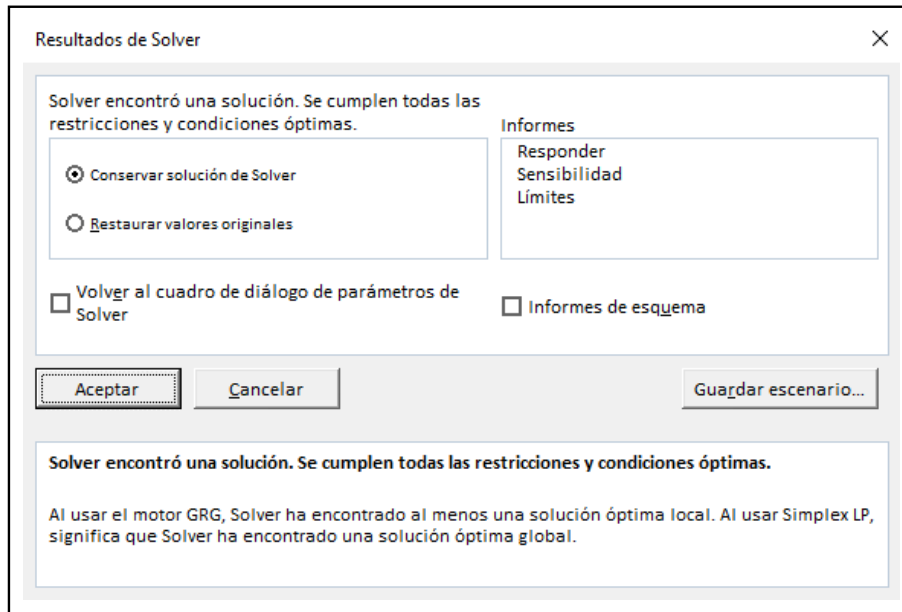
Después de una primera corrida de la optimización, se realizaron análisis dirigidos a identificar posibles acciones encaminadas a mitigar el efecto de las restricciones y conseguir ganancias superiores a las inicialmente alcanzadas. Como parte de estos análisis, se realizaron evaluaciones de varios escenarios en la búsqueda de mayores niveles de utilidades, las que condujeron a la realización de propuestas que modifican la planificación de la producción previamente realizada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La ejecución del SOLVER arrojó como resultados una solución global que cumple con todas las restricciones, tal como se muestra en la Figura 6.

FIGURA 6

Resultados de la ejecución del SOLVER de Excel



La referida solución global se muestra en la Figura 7. Se observa que, para las condiciones inicialmente establecidas, la máxima ganancia que se alcanzaría durante el mes que se planifica es de 46 941,97 USD.

Esta ganancia se logra a partir de la producción de solo cinco de los diez productos posibles a fabricar y en las cantidades que también se muestran en esta Figura.

FIGURA 7

Máxima ganancia y cantidades de cada producto a fabricar en las condiciones especificadas

Función Objetivo									
Máxima ganancia mensual									
46941.97					USD/mes				
Productos a fabricar									
sorbeto	cereal sabor	panqué	caramelo	sirope	mezcla natilla	galleta sal	miga sal	galletas dulces	miga dulce
18.83	0.00	17.34	6.58	0.00	14.91	0.00	0.00	17.10	0.00
Demanda total de los productos de la fábrica D_i (t/mes)									
18.83	19.21	17.34	6.58	20.02	14.91	31.58	4.55	21.34	5.21

Para un grupo de cuatro productos (sorbeto, panqué, caramelo y mezcla natilla), las cantidades a fabricar que arrojó la corrida del software se han igualado a las cantidades demandadas del producto. Esto evidencia que, es conveniente fabricar estos productos principalmente si se desea maximizar la ganancia y también indica que se han puesto de manifiesto las restricciones de mercado para estos cuatro productos, limitándose el incremento de la ganancia a valores superiores.

La conveniencia de fabricar estos cuatro productos también es indicada por el análisis de sensibilidad que se presenta en la Figura 8, donde se muestra la permisibilidad de seguir incrementando las cantidades a fabricar hasta el valor límite establecido de $1 \cdot 10^{30}$, a diferencia de la galleta dulce, con una permisibilidad de incremento mucho menor, producto que no cubriría la demanda para las condiciones de máxima ganancia.

FIGURA 8

Resultados del análisis de sensibilidad de las variables de decisión

Celdas de variables						
Celda	Nombre	Final Valor	Reducido Coste	Objetivo Coeficiente	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
\$E\$12	Xi sorbeto	18.83	43.65	1224.38	1E+30	43.65
\$F\$12	Xi cereal sabor	0.00	-2141.26	613.77	2141.26	1E+30
\$G\$12	Xi panqué	17.34	304.79	497.39	1E+30	304.79
\$H\$12	Xi caramelo	6.58	396.22	835.00	1E+30	396.22
\$I\$12	Xi sirope	0.00	-561.61	858.84	561.61	1E+30
\$J\$12	Xi mezcla natilla	14.91	6.22	133.33	1E+30	6.22
\$K\$12	Xi galleta sal	0.00	-35.40	481.34	35.40	1E+30
\$L\$12	Xi miga sal	0.00	-1303.86	1050.16	1303.86	1E+30
\$M\$12	Xi galletas dulces	17.10	0	454.72	16.81	31.15
\$N\$12	Xi miga dulce	0.00	-2032.69	354.58	2032.69	1E+30

Otras de las restricciones que se ha puesto de manifiesto es la de capacidades productivas, al igualarse el tiempo invertido en la producción al tiempo disponible establecido de 480 h en el periodo productivo. Sin embargo, hay que considerar que esta restricción limita definitivamente el incremento de la ganancia pudiera resultar engañoso. Un aumento de la demanda de los productos pudiera traer consigo una redistribución en cuanto a las cantidades a fabricar en función del incremento de la ganancia a obtener y cubriendo el mismo tiempo disponible, pues la demanda ha sido cubierta para un grupo de cuatro productos; mientras que, para los otros seis ha quedado insatisfecha.

También han ocurrido restricciones por indisponibilidad de materias primas. Aunque hay un grupo de materias primas que se agotarían para la producción óptima determinada ($R_j = M_j$), marcadas con números en rojo en la Figura 9, de un presupuesto disponible para la compra de materias primas de 50 000 USD, se han empleado 38 986,05 USD, por lo que no han ocurrido restricciones financieras y dichas materias primas pudieran ser adquiridas bajo la condición declarada de que el proceso logístico de suministro de las materias primas no restringe el incremento de los niveles productivos.

FIGURA 9*Balance de materias primas para la producción*

Materia Prima	R_j (t)	Eo_j (t)	Mc_j (t)	M_j (t)
Harina de trigo	31.69	3.25	28.44	31.69
Azúcar refino	31.87	4.50	27.37	31.87
Aceite vegetal	4.10	2.25	1.85	4.10
Grasa hidrogenada	5.32	1.28	4.05	5.32
Sal común	0.28	8.13	0.00	8.13
Bicarbonato de sodio	0.19	2.08	0.00	2.08
Ácido cítrico	0.09	0.03	0.06	0.09
Lecitina de soya	0.09	2.50	0.00	2.50
Saborizante	0.19	0.12	0.07	0.19
Sirope de glucosa	1.67	0.11	1.56	1.67
Raspa de caramelo	0.00	2.20	0.00	2.20
Maicena	3.92	2.43	1.49	3.92
Cocoa	1.24	2.14	0.00	2.14
Levadura	0.00	0.08	0.00	0.08
Bicarbonato de amonio	0.04	0.21	0.00	0.21

Nota: (R_j- requeridas, Eo_j- iniciales, MC_j -compradas y M_j- disponibles (t))

Ante estas circunstancias, un incremento en las ganancias se pudiera lograr con la contratación de mayores niveles de venta de los productos más convenientes, que han sido restringidos por el mercado, o incrementando las capacidades productivas. Con una nueva optimización, manteniendo el tiempo disponible de 480 h, e incrementando las demandas de los productos en un 50 % se alcanzaría una ganancia de 51 071,78 USD, para lo cual se emplearía un presupuesto de 48 183,40 USD.

Si se modifica el régimen laboral estableciendo tres turnos de trabajo, de manera que se produzca durante 24 horas diarias y 26 días mensuales de operación, para un TD de 624 horas mensuales, la ganancia alcanzaría un valor de 62 689,14 USD y se emplearía todo el presupuesto asignado de 50 000 USD, para la compra de las materias primas. En este caso se restringiría el incremento de la ganancia por la carencia de presupuesto.

Un incremento del presupuesto disponible hasta 80 000 USD traería un pequeño aumento de la ganancia hasta 62 785,80 USD, con el cubrimiento total de la demanda de estos cuatro productos que la cubrían en la primera optimización, pero sin incurrir en significativas compras de materias primas adicionales. Esto demuestra que existen muchas potencialidades desde el mercado y que un incremento de la demanda de los productos pudiera traer consigo incrementos significativos de la ganancia.

Para probar la hipótesis anterior se realizó una última corrida del SOLVER, con una demanda de cada uno de los productos 10 veces superior a la inicial, manteniendo un TD de 624 horas y un PD de 80 000 USD. En esta circunstancia se alcanzó una ganancia significativamente superior a todas las anteriores. Esto demuestra que este sistema productivo se encuentra fuertemente restringido por el mercado, área que debe priorizarse si se desea lograr altos niveles de ganancias.

Lo antes expuesto se corrobora en la Tabla 1. En esta se presenta un resumen de los resultados obtenidos en las corridas para cinco escenarios evaluados en cuanto a la ganancia que se obtendría y los presupuestos y tiempos disponibles para la producción. Se puede observar que con el incremento del tiempo disponible (cambio de escenario de 2 a 3) y el incremento del presupuesto

para la compra de materias primas (cambio de escenario de 3 a 4), no se supera el incremento de la ganancia que ocurre cuando se corre el escenario 5, que se basa en el aumento de las demandas. La ganancia alcanzada en este último escenario supera en un 114,69 % a la que se lograría en el primer escenario y en un 60,51 % a la del cuarto escenario.

TABLA 1

Resumen de las ganancias máximas que se obtendrían según los presupuestos y tiempo disponible para la producción

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Tiempo disponible (h)	480	480	624	624	624
Presupuesto disponible (USD)	50 000,00	50 000,00	50 000,00	80 000,00	80 000,00
Presupuesto empleado (USD)	38 986,05	48 183,40	50 000,00	57 937,99	80 000,00
Ganancia mensual (USD)	46 941,97	51 071,78	62 689,14	62 785,80	100 778,23
% de incremento de ganancia	-	8,80	33,55	33,75	114,69

La Tabla 2 presenta la distribución de los productos y las cantidades que se deben fabricar según la optimización y las demandas previamente declaradas. Los productos seleccionados se muestran solo en cantidades de cuatro o cinco para cada escenario; aunque no siempre son los mismos y las cantidades en ocasiones varían significativamente. Sin embargo, se puede apreciar con claridad que los productos cereal sabor, galleta sal y miga dulce no son priorizados por la herramienta de optimización y no evidencian cantidades a fabricar en ninguno de los tres escenarios.

Por otro lado, solo los productos panqué y caramelo presentan cantidades a fabricar en todos los escenarios, pero el primero de ellos cubre totalmente la demanda en cada uno de dichos escenarios y tiene una supremacía muy significativa en el último de ellos. Estos elementos, permiten afirmar que el panqué es el producto más promisorio, para alcanzar elevados niveles de ganancias y pudiera convertirse en el producto líder entre todos los incluidos en este estudio.

TABLA 2*Resumen de las cantidades de los productos a fabricar para cada uno de los escenarios*

Escenario	D/A	Sorbeto	Cereal sabor	Panque	Caramelo	Sirope	Mezcla natilla	Galleta sal	Miga sal	Galletas dulces	Miga dulce
Escenario 1	D	18,83	19,21	17,34	6,58	20,02	14,91	31,58	4,55	21,34	5,21
	A	18,83	0,00	17,34	6,58	0,00	14,91	0,00	0,00	17,10	0,00
Escenario 2	D	28,25	28,81	26,01	9,87	30,02	22,37	47,36	6,82	32,02	7,81
	A	21,98	0,00	26,01	9,87	0,00	22,37	0,00	0,00	0,00	0,00
Escenario 3	D	28,25	28,81	26,01	9,87	30,02	22,37	47,36	6,82	32,02	7,81
	A	28,25	0,00	26,01	9,87	0,00	6,81	0,00	0,00	13,24	0,00
Escenario 4	D	28,25	28,81	26,01	9,87	30,02	22,37	47,36	6,82	32,02	7,81
	A	28,25	0,00	26,01	9,87	0,00	22,37	0,00	0,00	8,89	0,00
Escenario 5	D	188,30	192,10	173,40	65,80	200,20	149,10	315,80	45,50	213,40	52,10
	A	0,00	0,00	173,40	0,42	2,53	0,00	0,00	0,30	25,72	0,00

Nota: D: demanda (T); A: a fabricar (T); T: tonelada

La aplicación del método de planificación que en este trabajo se presenta, además de determinar los productos y las cantidades que deben fabricarse para alcanzar altos niveles de ganancia, brinda información relevante para la actividad comercial y logística. A partir de su aplicación se pueden planificar las contrataciones sobre las ventas de los productos a fabricar.

En cuanto a la logística, en la Tabla 3 se presentan las cantidades iniciales de materias primas y las cantidades que se necesitan comprar para cada uno de los escenarios evaluados. Mientras algunas materias primas no necesitan ser compradas para ninguno de los escenarios, otras requieren de compras muy significativas, en dependencia de las

cantidades iniciales en existencia, sus normas de consumo y los productos y cantidades a fabricar.

Se debe señalar, que la programación se ha realizado de tal forma que las cantidades a comprar calculadas resulten ser las mínimas para cubrir las necesidades de la producción y evitar excesos de inventarios. En la práctica, las actividades logísticas se conciben con ciclos de aprovisionamiento que dependen, entre otros factores, del tiempo de caducidad de las materias primas. Esto conlleva a que las compras, generalmente, permitan cubrir tiempos de producción mayores de un mes como se ha establecido para el periodo productivo en este trabajo.

TABLA 3*Cantidades de materias primas a comprar para cada uno de los escenarios*

Materias Primas	E _{oj} (t)	M _{ej} (t)				
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Harina de trigo	3,25	28,44	21,93	35,32	32,19	93,37
Azúcar refino	4,50	27,37	40,44	31,28	43,14	56,52
Aceite vegetal	2,25	1,85	0,00	1,81	1,08	8,98
Grasa hidrogenada	1,28	4,05	5,08	6,71	6,71	2,99
Sal común	8,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarbonato de sodio	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ácido cítrico	0,03	0,06	0,10	0,10	0,10	0,34
Lecitina de soya	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saborizante	0,12	0,07	0,09	0,09	0,12	0,40
Sirope de glucosa	0,11	1,56	2,39	2,39	2,39	0,00
Raspa de caramelo	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maicena	2,43	1,49	3,45	0,00	3,45	0,00
Cocoa	2,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Levadura	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarbonato de amonio	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

La búsqueda de mayores niveles de ganancias empresariales no termina en un trabajo como este. Mientras algunas de las acciones a tomar pueden ser establecidas a corto plazo y sin realizar grandes inversiones, otras requerían de mayores esfuerzos y tiempo para ser ejecutadas. A corto plazo se pudieran realizar actividades de mercadeo para identificar nuevas demandas de productos, así como gestionar presupuestos para la compra de materias primas. También se pueden realizar estudios de tiempo en el proceso productivo, identificar y eliminar cuellos de botella y emprender estudios de organización de puestos de trabajo y líneas productivas.

Otras acciones pudieran ejecutarse a más largo plazo, como el incremento de la capacidad de los equipos claves, el montaje de equipos de mayor capacidad y de tecnologías más productivas y la asimilación de productos de mayor valor agregado. Todas estas últimas acciones requerirían de la ejecución de proyectos e inversiones.

CONCLUSIONES

El método de planificación productiva demostró la capacidad para determinar las cantidades de los productos que se deben fabricar con vistas a alcanzar la máxima ganancia dentro de un periodo productivo. Aunque para el caso de estudio presentado, este periodo ha sido de un mes, el método puede ser aplicable para otros periodos productivos, en dependencia de las necesidades y políticas de la empresa. También pudiera ser aplicable a disímiles situaciones acotadas por las restricciones de capacidades productivas, mercado y financiamiento; así como, a cualquier tipo de fábrica multi productora, ya sea de producción de alimentos o de otro sector de la economía.

Los resultados que se obtengan en cada optimización deben tratarse con precaución para no tomar decisiones apresuradas. Las cantidades de productos que se priorizan fabricar en una situación dada pueden cambiar drásticamente

cuando se modifican algunas de las condicionantes o parámetros del modelo.

El mejor de los resultados dependerá de la correcta conjugación de los factores que determinan las ganancias, algo que se puede lograr con la aplicación de este método, basado en los principios de la investigación de operaciones y en las bondades del Excel, su amigable interfaz con el usuario y las facilidades para vincular hojas y bases de datos que proceden de diferentes áreas de la empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arango, M., Augusto, C., & Pérez, G. (2010). Uso de la programación lineal paramétrica en la solución de un problema de planeación de requerimiento de materiales bajo condiciones de incertidumbre. *Ingeniería e investigación*, 30(3), 96-105. <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n3/v30n3a08.pdf>
- Díaz, M., Mula, J., & Peidro, D. (2014). A review of discrete-time optimization models for tactical production planning. *International Journal of Production Research*, 52(17), 5171-5205. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2014.899721>
- Escobar, J., Linfati, R., & Adarme, W. (2017). Gestión de Inventarios para distribuidores de productos perecederos. *Ingeniería y desarrollo*, 35(1), 219-239. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-34612017000100219&script=sci_arttext
- García, D., & You, F. (2015). Supply chain design and optimization: Challenges and opportunities. *Computers & Chemical Engineering*, 81, 153-170. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135415000861>
- Harjunkski, I., Maravelias, C., Bongers, P., Castro, P., Engell, S., Grossmann, I., Hooker, J., Mendez, C., Sand, G., & Wassick, J. (2014). Scope for industrial applications of production scheduling models and solution methods. *Computers & Chemical Engineering*, 62(2014), 161-193. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135413003682>
- Hillier, F., & Lieberman, G. (1997). *Introducción a la investigación de operaciones*. In McGraw-Hi (Series Ed.), (pp. 1033).
- Jablonsky, J., & Skocdopolova, V. (2017). Análisis y optimización del proceso de producción en una empresa procesadora de leche. *Información Tecnológica*, 28(4), 39-46. doi:10.4067/S0718-07642017000400006
- Kehinde, E., Ogunnaike, O., & Adegbuyi, O. (2020). Analysis of inventory management practices for optimal economic performance using ABC and EOQ models. *International Journal of Management (IJM)*, 11(7). https://www.academia.edu/download/65774838/IJM_11_07_074.pdf
- Li, F. (2022). Optimization Design of Short Life Cycle Product Logistics Supply Chain Scheme Based on Support Vector Machine. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(106), 1-13. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1155/2022/2311845>
- López, G., Castro, N., & Guerra, O. (2017). Optimización del plan de producción: estudio de caso carpintería de aluminio. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(1), 178-186. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202017000100026&script=sci_arttext
- 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 Licenciatura, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/fcfc6ca5-7dae-4ee1-b134-361b3a151ce5/content>
- Mula, J., & García, J. (7 y 8 de septiembre de 2006). *Un modelo de programación lineal multi-objetivo para la resolución del MRP con restricciones de capacidad*. X Congreso de Ingeniería de Organización, Valencia, España
- Mula, J., Lyons, A., Hernández, J., & Poler, R. (2014). An integer linear programming model to support customer-driven material planning in synchronised, multi-tier supply chains. *International Journal of Production Research*, 52(14), 4267-4278. doi:<https://doi.org/10.1080/00207543.2013.878055>
- Ordoñez, A., Orejuela, J., & Bravo, J. (2015). Modelo de gestión de inventarios de carne de cerdo en puntos de venta. *Pensamiento & Gestión* (39), 30-51. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-62762015000200003&script=sci_arttext
- Ortiz, V., & Caicedo, Á. (2014). Programación óptima de la producción en una pequeña empresa de calzado en Colombia. *Ingeniería Industrial*, 35(2), 114-130. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4786532>
- Pérez, F., & Torres, F. (2014). Modelos de inventarios con productos perecederos: revisión de literatura. *Ingeniería*, 19(2), 9-40. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-750X2014000200002&script=sci_arttext
- Romero, J., Ortiz, V., & Caicedo, Á. (2019). La teoría de restricciones y la optimización como herramientas gerenciales para la programación de la producción: una aplicación en la industria de muebles. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 27, 74-90. <https://www.econstor.eu/handle/10419/286155>
- Scenna, N., Aguirre, P., Benz, S., Chiotti, O., Espinosa, H., Ferrero, M., Montagna, J., Mussati, M., Perez, G., Rodriguez, J., Salomone, H., Santa, A., Tarifa, E., & Vega, J. (2015). Modelado, simulación y optimización de procesos químicos. https://www.academia.edu/34057619/MODELADO_SIMULACION_Y_OPTIMIZACION_DE_PROCESOS_QUIMICOS
- Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones* (Novena ed.): Pearson Educación.
- Vasquez, J. P. R., Cárdenas, D. C., Carrillo, M. G. G., & Rosero, C. H. S. (2015). Modelo de programación lineal para planeación de requerimiento de materiales. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 28(2). <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/322>
- Viveros, R., & Salazar, E. (2010). Modelo de planificación de producción para un sistema multiproducto con múltiples líneas de producción. *Revista Ingeniería de Sistemas*, 24(2010), 89-102. <https://www.academia.edu/download/39885622/Viveros89.pdf>
- Xue, N., Landa, D., Figueredo, G., & Triguero, I. (2019). A simulation-based optimisation approach for inventory management of highly perishable food. In Proceedings of the 8th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems (ICORES 2019) DOI: 10.5220/0007401304060413
- Zambrano, D., Soto, L., & Ugalde, J. (2021). Teoría de las restricciones y su impacto en las mejoras de la productividad. *Polo del conocimiento*, 6(11), 398-411. <https://mail.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3277>