

SYSTEMS APPROACH FOR MODELING DEVELOPMENT IN MANUFACTURING COMPANIES

ENFOQUE DE SISTEMAS PARA EL DESARROLLO DE MODELAMIENTOS EN EMPRESAS DE MANUFACTURA

PhD. Lloyd H. Morris M^{*}, MSc. Olga J. Salazar H. ^{**},
PhD. Ender Barrientos M^{***}

Universidad de Pamplona

^{*} Universidad Católica de Pereira, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Ingeniería Industrial.

Av. Las Américas N 49-95, Pereira, Risaralda, Colombia.

PBX: +57 3213627427

E-mail: lloyd.morris@ucp.edu.co

^{**} Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Empresariales, Ingeniería Industrial.

Carrera 27 N 10-02, Pereira, Risaralda, Colombia.

PBX: +57 3046293646

E-mail: o.salazar@utp.edu.co

^{***} FESC, Fundación de Estudios Superiores Confanorte.

Av. 5 N 15-27, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

PBX: +57 3212249156

E-mail: ej_barrientos@fesc.edu.co

Abstract: This article incorporates an overview, but integrative for the construction of mathematical models through the investigation of operations in any manufacturing company. For this, the systems approach and its development are used within the construction phases of linear programming, incorporating prediction techniques and an analysis of the most relevant parameters that may represent the reality of the production process. For this reason, a business case is developed in which of five groups established by market, raw material, public regulation, internal policies and production capacities are proposed, which through an analysis that incorporates each production subsystem or subprocess achieves the development of a model that in its solution and inquiry that support decision making with productive orientations that impact business profits.

Keywords: Systems approach, modeling, prediction, linear programming, productive process.

Resumen: Este artículo incorpora una visión general, pero integradora para la construcción de modelos matemáticos a través de la investigación de operaciones en cualquier empresa de manufactura. Para ello, se utiliza el enfoque de sistemas y su desarrollo dentro de las fases de construcción de la programación lineal, incorporando técnicas de predicción y un análisis de los parámetros más relevantes que puedan representar la realidad del proceso productivo. Por tal razón, se desarrolla un caso empresarial en el que se establecen un total de cinco grupos parametrizados por: mercado, materia prima, política para la diversificación de los productos en el mercado, políticas internas y capacidades de producción, que mediante un análisis que incorpora cada subsistema o subprocesso de producción logra el desarrollo de un modelo que en su solución e indagación apoyan la toma de decisiones con orientaciones productivas para impactar las ganancias empresariales.

Palabras clave: Enfoque de sistemas, modelamiento, predicción, programación lineal, procesos productivos.

1. INTRODUCCION

Dado el alto grado de inestabilidad en el mundo económico, la administración de los procesos industriales es compleja, por ello la utilización de modelos matemáticos para decisiones estratégicas empresariales, representan una opción de gran utilidad Loginovskiy and Vladimirovich (2018). Para favorecer el desarrollo de modelos matemáticos, el enfoque de sistemas constituye una alternativa para el diseño de un paradigma en sistemas multiescalares en prácticas industriales Linninger (2001). Por lo tanto, la complejidad en la administración de procesos industriales, poseen una herramienta de gran beneficio, basada en el modelamiento bajo enfoque de sistemas.

Con respecto al modelamiento, existen diversas perspectivas para la definición de un modelo, pero dada la naturaleza de los procesos operativos, los modelos requeridos son de índole cuantitativo. Desde esta perspectiva Hiller y Lieberman (2010), indican que los métodos cuantitativos contribuyen a la toma de decisiones bajo enfoques científicos que involucran factores cuantitativos. Heizer and Barry (2009), expresan que un modelo es la representación matemática de una situación; mientras que Mathur and Solow (1996), establecen que en los modelos existe el método óptimo mediante los que se producen los mejores valores para las variables de decisión.

En particular la primera fase, el presente artículo muestra la aplicación de modelos de optimización, desarrollados por medio del enfoque de sistemas en procesos de producción. Para ello es requerido la predicción de la demanda de los productos que la empresa oferta al mercado, que según Croxton (2002), la demanda para los procesos de gestión en operaciones permite la sincronización del mercado con la oferta, incrementando la flexibilidad en los procesos y permitiendo la reducción de la variabilidad.

Balogun (2013), demuestran como la programación lineal deriva en la maximización de las ganancias de un proceso productivo. Por lo que posterior a la cuantificación de la demanda y a la estructura definida bajo el enfoque de sistemas, este artículo presenta el desarrollo de un modelo con base a la programación lineal, para la maximización de las ganancias de un proceso de manufactura.

Finalmente, se procede a la fase de optimización y de análisis de los resultados. Belfiore y Fábero

(2012), presentan diversas maneras para resolver un problema de programación lineal, entre las cuales esta el uso del computador que para el caso del presente trabajo se obtendrá mediante el software QM for Windows para acceder finalmente a las propuestas con base a un ambiente dinámico para la toma de decisiones.

2. ENFOQUE DE SISTEMAS EN PROCESOS DE MANUFACTURA

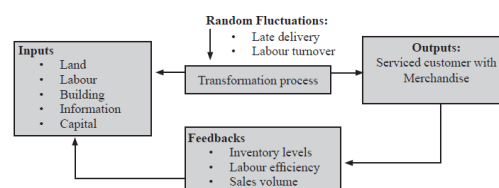


Fig. 1. Sistema de Operaciones
Fuente: JNU (2013)

Bertalanffy (1968), propuso la fundamentación, desarrollo y aplicaciones sobre la teoría general de sistemas, Stevenson (2015), define el enfoque de sistema como un conjunto en el que la interrelación de las partes logra un trabajo en conjunto, mientras que JNU (2013), bajo una adecuación para un sistema de operaciones (ver el esquema de la figura 1), identifica cuatro componentes: Salidas, procesos de transformación y entradas, más el requerimiento de la realimentación.

Para la Chand y Otros (2017), hacen referencia que inevitablemente el pronóstico de la demanda es uno de los componentes mas relevantes para activar cualquier cadena de suministros. En este aspecto Slack (2013), relaciona la salida de los procesos de producción con los bienes y/o servicios solicitados por los clientes. Es por ello por lo que desde el enfoque de sistemas la salida identificada desde el contexto productivo posee relación con los productos que son ofertados hacia el mercado.

Por otro lado, el proceso está relacionado con la transformación de los insumos o recursos en bienes, Krajewski (2013), describe al proceso de transformación como un conjunto de operaciones secuenciales o en paralelo, que actúan como subsistemas para el logro de objetivos organizacionales.

En las entradas se posee una clasificación de los recursos que son requeridos para que los procesos de transformación funcionen y genere las salidas esperadas, Krajewski (2013), clasifica dentro de las entradas al sistema ítems en:

infraestructura, materiales, trabajadores,
equipamiento, energía, trabajadores,
administradores y tierra.

Finalmente, para completar el ciclo del enfoque de sistemas es importante cubrir la etapa de realimentación, que Fundin A., Bergman B. (2003), describen el nivel de importancia que en mercados competitivos se considere el punto de vista de los consumidores. Esta valorización se puede desarrollar de diversas formas, dentro de las cuales está en las acciones correctivas a los productos y al desarrollo en los procesos.

3. CONSTRUCCION DEL MODELO

Para que las empresas de manufactura posean un buen desempeño en operaciones, debe establecer alguna medida competitiva, dentro de las cuales se encuentra la minimización de costos y la maximización de las ganancias, Slack (2013) y Bodhibrata (2014). El modelo del presente estudio que se define bajo la estructura de la programación lineal establece como objetivo la ecuación matemática para el cálculo de las ganancias:

$$\text{Maximizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Fig. 2. Funcion objetivo

Fuente: Hillier and Lieberman (2010)

Donde,

Z representa las ganancias como resultado de las contribuciones individuales de cada producto.

Ci represente la ganancia unitaria de cada producto i

Xi representa a cada producto i

Para maximizar la ganancia mensual de la familia de productos, se consideró como referencia de optimización las ganancias, Ecuación (1):

$$\text{Maximizar } G = 25000xP1 + 20000xP2 + 25000xP3 + 15000xP4 \quad (1)$$

Donde,

G representa las ganancias como resultado de las contribuciones individuales de cada producto.

Gi represente la ganancia unitaria de cada producto i, por ejemplo, para el producto 1 (P1) la ganancia es de \$15000 (pesos colombianos) por cada kilogramo producida

Pi representa los kilogramos mensuales a producir de cada producto i

Stevenson (2015), plantea la necesidad de establecer prioridades en las condiciones del modelo, teniendo en consideración que algunos aspectos son mas importantes que otros, por tal razón al parametrizar el modelo de programación lineal contemplan un total de cinco categorías: mercado, materia prima, política para la diversificación de los productos en el mercado, políticas internas y capacidades de producción.

3.1 ANALISIS DEL MERCADO

Krajewski (2013), establece que el análisis de los patrones de las demandas es una tarea difícil dado el hecho de que la demanda de bienes y servicios puede variar mucho. Mas sin embargo existen una diversidad de técnicas para ajustarse al comportamiento de los productos, mediante el análisis de series de tiempo.

En el caso del mercado se tomó el histórico de los últimos cuatro años de la demanda de cada producto, distinguiéndose los comportamientos que se observan en las gráficas 1, 2, 3 y 4.

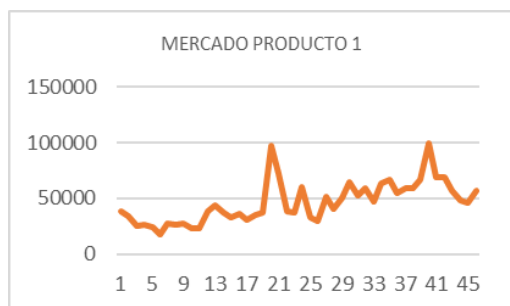
Lind y Otros (2015), definen y describen los componentes de una serie de tiempo, proponiendo técnicas específicas como el suavizado exponencial o el uso de técnicas de regresión en distribuciones de probabilidad.

Al analizar los comportamientos de los cuatro productos, se decide trabajar con técnicas de regresión en alguna de las distribuciones de probabilidad continua: lineal, exponencial, logarítmica y polinomial, más la revisión del suavizado exponencial.

Para la selección de la técnica con mayor precisión, se consideró la medición de la desviación media absoluta (MAD) y el coeficiente de determinación (r^2), Lind y Otros (2015), hacen saber que el MAD y el r^2 , son medidas de dispersión del error de los pronósticos.

Gráfico. 1. Mercado del producto 1

Fuente: Autores (2020)



Para el producto 1 se logra minimizar el MAD utilizando un proceso de optimización a través del método del suavizado exponencial simple. Este proceso resulta con un Alpha optimizado = 0.2378, generándose un pronóstico para el siguiente mes de 58.116, 5 kilogramos a colocar en el mercado. La ecuación final para la predicción es la ecuación (2):

$$F(t+1) = 0.2378 D(t) + (1 - 0.2378) F(t) \quad (2)$$

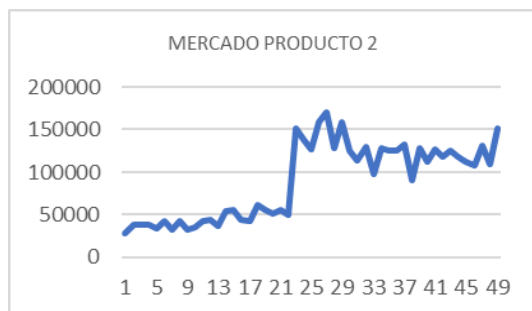
Donde,

$F(t+1)$ = es el pronóstico de las ventas del producto uno hacia periodos en el futuro.

D , representa la demanda del producto en el periodo previo al pronóstico

$F(t)$, es el último pronóstico realizado

Gráfico. 2. Mercado del producto 2
Fuente: Autores (2020)



Para el producto 2, utilizando funciones, se logra optimizar el nivel de correlación R^2 mediante una función exponencial. Este proceso resulta con un $R^2 = 0,7143$, generándose un pronóstico para el siguiente mes de 181.275,06 kilogramos a colocar en el mercado. La ecuación final para la predicción es la ecuación (3):

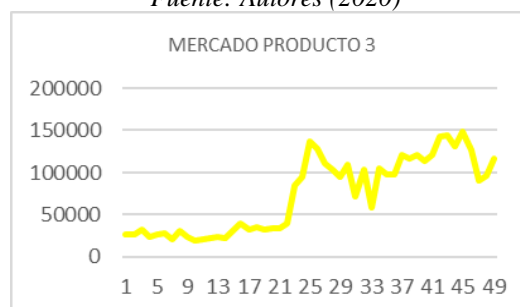
$$y = 33282e^{0.0339x} \quad (3)$$

Donde,

y = es el pronóstico de la demanda del producto 2, ajustado al mes x .

x = al periodo (mes) para la predicción.

Gráfico. 3. Mercado del producto 3
Fuente: Autores (2020)



Para el producto 3, utilizando funciones, se logra optimizar el nivel de correlación R^2 mediante una función lineal. Este proceso resulta con un $R^2 = 0,7482$, generándose un pronóstico para el siguiente mes de 140.928, 3 kilogramos a colocar en el mercado. La ecuación final para la predicción es la ecuación (4):

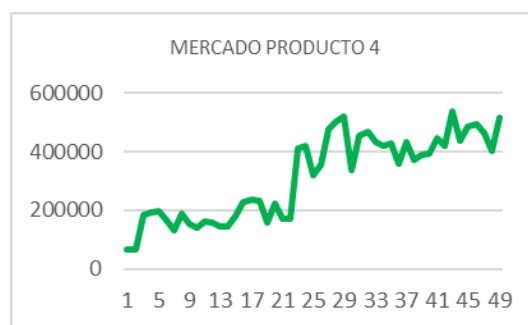
$$y = 2683.6x + 6748.3 \quad (4)$$

Donde,

y = es el pronóstico de la demanda del producto 3, ajustado al mes x .

x = al periodo (mes) para la predicción.

Gráfico. 4. Mercado del producto 4
Fuente: Autores (2020)



Para el producto 4, utilizando funciones, se logra optimizar el nivel de correlación R^2 mediante una función lineal. Este proceso resulta con un $R^2 = 0,7646$, generándose un pronóstico para el siguiente mes de 532.484 kilogramos a colocar en el mercado. La ecuación final para la predicción es la ecuación (5):

$$y = 8729.7x + 95999 \quad (5)$$

Donde,

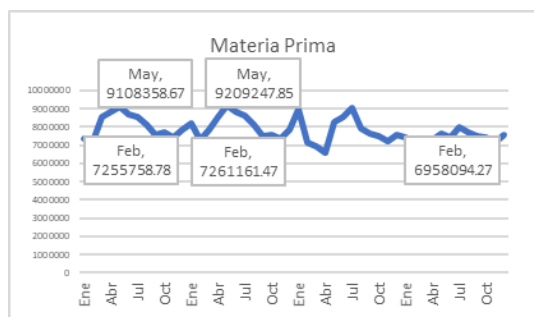
$y =$ es el pronóstico de la demanda del producto 3, ajustado al mes x .
 $x =$ al periodo (mes) para la predicción.

3.2 MATERIA PRIMA

Teniendo en consideración que los cuatro productos pasan por procesos de transformación en el que requieren prácticamente (aproximadamente 98 %) de una única materia prima, el análisis se llevo a cabo bajo esta única consideración y mas cuando el impacto en estructura de costos de este componente representa mas del 99% del costo en materia prima.

Del análisis resultante, se tiene que el comportamiento de la materia prima posee estacionalidad. En donde se observan altos y valles en algunos meses específicos del año, por ejemplo, los meses de mayo con altos niveles de consumo de materia prima, mientras que los meses de febrero con bajos niveles de consumo. (ver gráfico 5).

Gráfico. 5. Comportamiento de la materia prima
Fuente: Autores (2020)

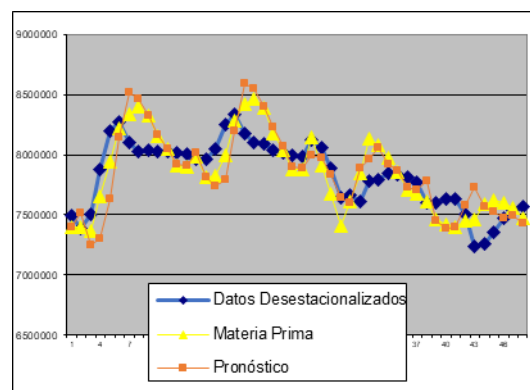


Por el comportamiento observado se tomó la decisión de desestacionalizar los datos, Chase y Otros (2006), muestran el procedimiento para la descomposición de una serie temporal de datos, mediante la descomposición multiplicativa para la información analizada se logra el cálculo de los índices estacionales mensuales para desestacionalizar la data.

El resultado visual se tiene el gráfico 6, y luego de forma comparativa entre las técnicas se ensayó con las funciones: lineal, exponencial, logarítmica y polinómica, en comparación al suavizado exponencial simple; lográndose optimizar la precisión mediante la medición del MAD con el suavizado exponencial simple (s.e.s). El MAD optimizado con Alpha = 1, para el s.e.s dio 83.307, teniendo una estimación del

consumo de la materia prima hacia el próximo periodo de 7571597 kgs

Gráfico. 6. Materia prima: Estacionalidad, Desestacionalización y proyección
Fuente: Autores (2020)



Finalmente, la relación matemática del recurso de materia prima se evidencia en la siguiente ecuación (6):

$$P! + P2 + P3 + P4 \geq 7571597 \quad (6)$$

3.3 POLITICA PARA LA DIVERSIFICACION DE PRODUCTOS EN EL MERCADO

Amstrong y Kotler (2013), denota el manejo de líneas o familias de productos como un conjunto de productos que se encuentran muy relacionados debido a que funcionan de manera similar vendiéndose a los mismos grupos de clientes. En este sentido, Slack (2013), reconoce la importancia de la cooperación y del enfoque interdisciplinario del ámbito de las operaciones, con otras funciones para asegurar la efectividad en el desempeño organizacional.

Por este motivo las empresas poseen políticas internas de producción con enfoque en la diversificación de los productos en el mercado, con la finalidad de que la oferta de la familia de productos mantenga la cohesión de las fortalezas individualizadas con la imagen y alternativas de cambios en ventas, dado el hecho de que son productos relacionados que se comercializaran a través de los mismos puntos de venta, encontrándose en rangos similares de precio.

Por ello, se establecen ponderaciones de participación de los diversos productos. El resultado de este proceso bajo una relación matemática se evidencia en la siguiente inecuación, Ecuación (7):

$$0.3P1 - P2 + 0.3P3 + 0.3P4 \geq 13754 \quad (7)$$

3.4 POLITICA INTERNA DE NIVELES DE PRODUCCION, ENTRE PRODUCTOS

(11)

Taha (2012), señalan la importancia de la programación lineal en modelos realistas, dentro de los que se encuentran aplicaciones en la programación de la producción para satisfacer la demanda estableciendo niveles factibles entre productos relacionados.

Por esta razón dentro del contexto de producción analizado existe una política dirigida a controlar los niveles de producción entre los productos uno y tres, dada algunas limitaciones en capacidad de producción y en requerimientos de materiales. Esta situación se expresa a través de la Ecuación (8):

$$-\frac{7}{10}P_1 + \frac{3}{10}P_3 \geq 0 \quad (8)$$

3.5 CAPACIDADES DE PRODUCCION

Stevenson (2015), manifiesta que, dentro del enfoque de sistemas en operaciones de transformación, es imprescindible analizar los procesos que se dan de manera secuencial o en paralelo para la obtención de los productos esperados. Por esta razón y entendiendo que el modelo de programación lineal (según la parametrización ya establecida), requiere cuantificar las capacidades de producción, por medio del estudio de los procesos vinculantes, a continuación, se analizan nueve procesos asociados a la obtención de nueve restricciones:

PROCESO 1 Minutos mensuales disponibles en proceso de producción 1, esta capacidad se establece en la ecuación (9):

$$\frac{445}{3591}P_1 + \frac{320}{1413}P_2 + \frac{1810}{14369}P_3 + \frac{70}{513}P_4 \leq 432.000 \quad (9)$$

PROCESO 2 Minutos mensuales disponibles en proceso de producción 2, esta capacidad se establece en la ecuación (10):

$$\frac{65}{3591}P_1 + \frac{65}{2826}P_2 + \frac{65}{3591}P_3 + \frac{61}{4104}P_4 \leq 43200 \quad (10)$$

PROCESO 3 Minutos mensuales disponibles en proceso de producción 3, esta capacidad se establece en la ecuación (11):

$$\frac{25}{1197}P_1 + \frac{25}{942}P_2 + \frac{25}{1197}P_3 + \frac{25}{1368}P_4 \leq 43200$$

PROCESO 4 Minutos mensuales disponibles en proceso de producción 4, esta capacidad se establece en la ecuación (12):

$$\frac{125}{1884}P_2 \leq 43200 \quad (12)$$

PROCESO 5 Kilogramos mensuales disponibles en el proceso de producción 5, esta capacidad se establece en la ecuación (13):

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \leq 6300000 \quad (13)$$

PROCESO 6 Kilogramos mensuales disponibles en el proceso de producción 6, esta capacidad se establece en la ecuación (14):

$$\frac{1}{30}P_1 + \frac{1}{15}P_3 \leq 15806 \quad (14)$$

PROCESO 7 Kilogramos mensuales disponibles en el proceso de producción 7, esta capacidad se establece en la ecuación (15):

$$\frac{1}{30}P_1 + \frac{1}{15}P_3 \leq 47401 \quad (15)$$

PROCESO 8 Minutos mensuales disponibles en el proceso de producción 8, esta capacidad se establece en la ecuación (16):

$$\frac{727}{35910}P_1 + \frac{151}{7065}P_2 + \frac{53}{2280}P_3 + \frac{299}{20520}P_4 \leq 28890 \quad (16)$$

PROCESO 9 Kilogramos mensuales disponibles en el proceso de producción 9, esta capacidad se establece en la ecuación (17):

$$\frac{21}{30}P_1 + \frac{17}{30}P_3 \leq 402192 \quad (17)$$

3.6 MODELO

Finalmente, luego de definir las variables de decisión, el objetivo y de cuantificar cada uno de los parámetros requeridos en el modelo: mercado, materia prima, política para la diversificación de los productos en el

mercado, políticas internas y capacidades de producción, se obtiene la construcción del modelo bajo el esquema de la tabla 1:

Tabla. 1. Modelo
Fuente: Autores (2020)

	P1	P2	P3	P4		
Max G	25000	20000	25000	15000		
LD						
Rest 1	1				≤	58117
Rest 2		1			≤	181275
Rest 3			1		≤	140928
Rest 4				1	≤	532484
Rest 5	1	1	1	1	≤	7571597
Rest 6	0.3	-1	0.3	0.3	≥	13754
Rest 7	-0.7		0.30		≥	0
Rest 8	0.12	0.23	0.13	0.14	≤	432000
Rest 9	0.02	0.02	0.02	0.01	≤	43200
Rest 10	0.02	0.03	0.02	0.02	≤	43200
Rest 11		0.07			≤	43200
Rest 12	1.00	1.00	1.00	1.00	≤	6300000
Rest 13	0.03		0.07		≤	15806
Rest 14	0.03		0.07		≤	47401
Rest 15	0.02	0.02	0.02	0.01	≤	28890
Rest 16	0.70		0.57		≤	402192

Este modelo de programación lineal, logrado mediante el enfoque de sistemas, posee el interés de obtener el nivel de producción óptimo del mix de cuatro productos para maximizar la ganancia mensual sujeto al cumplimiento de 16 restricciones.

Las restricciones asociadas son: el mercado (restricciones 1 a la 4), materia prima (restricción 5), política para la diversificación de los productos en el mercado (restricción 6), políticas internas en niveles de producción (restricción 7) y capacidades de producción en procesos (restricciones 8 a 16)

4. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 ANALISIS DE RESULTADOS EN EL PRIMER ESCENARIO

Partiendo del modelo construido y al obtener la solución utilizando QM for Windows se obtiene la siguiente solución, en kilogramos mensuales para cada producto:

Tabla. 2. Solución del modelo
Fuente: Autores (2020)

	P1	P2	P3	P4
VD	58117	181275	140928	532484

Es decir, con el fin de maximizar la ganancia mensual en la familia productos, para el próximo mes la empresa deberá producir: 58117 kg del producto 1, 181275 kg del producto 2, 140928 kg del producto 3 y 532484 kg del producto 4. De realizar este mix (combinación), la empresa obtendría una ganancia esperada de 16.588.881.200 pesos colombianos al mes.

Taha (2012), informa que a través de un análisis de sensibilidad se puede abordar la posibilidad del cambio de los datos o parámetros bajo los cuales se ha construido un modelo de programación lineal, en donde los cambios pueden ocurrir dentro de ciertos límites sin que cambie la solución óptima, o se puede realizar una proyección de las consecuencias de los cambios en el objetivo del modelo.

Tomando en consideración el análisis de sensibilidad, se puede concluir que la solución del modelo está limitada por el mercado, en otras palabras, la solución se ajusto a los niveles mínimos del estudio de la demanda de los productos en el mercado, de hecho, los únicos precios duales con valores mayores a 0, son los de las restricciones 1,2,3 y 4, como se muestra a continuación:

Tabla. 3. Precios Duales
Fuente: Autores (2020)

	RHS	Dual	
Rest 1	83679	25000	Mercado para el producto 1 (Kgs)
Rest 2	181275	20000	Mercado para el producto 2 (Kgs)
Rest 3	195251	25000	Mercado para el producto 3 (Kgs)
Rest 4	1289041	15000	Mercado para el producto 4 (Kgs)

Entonces se puede concluir que, en la primera corrida del modelo, no existen limitaciones en ninguno de los parámetros definidos por: la materia prima (restricción 5), la política para la diversificación de los productos en el mercado (restricción 6), la política interna en niveles de producción (restricción 7), ni en las capacidades de producción en procesos (restricciones 8 a 16).

Finalmente, la recomendación en este escenario es el desarrollo de estrategias de mercadeo, orientadas a aumentar la cobertura de mercado actual de la empresa, pudieran ser estrategias de penetración de mercado, dado a que la solución se ajusta a las demandas estimadas, sin observarse inconveniente alguno en otro parámetro del modelo.

4.2 ANALISIS DE RESULTADOS EN EL SEGUNDO ESCENARIO

Dado el resultado previo, se incorpora una corrida adicional en la que se ejecuta un cambio en las restricciones de mercado (restricción 1 a la restricción 4), en las que se invierte el sentido de desigualdad, tal y como se muestra en la tabla 4:

Tabla. 4. Modificación en modelo

Fuente: Autores (2020)

LD					
Rest 1	1			\geq	58117
Rest 2		1		\geq	181275
Rest 3			1	\geq	140928
Rest 4			1	\geq	532484

La intención de esta modificación es revisar que ocurre con las otras restricciones del modelo una vez que se eliminan los valores máximos de la demanda de los productos en el mercado, por ello las restricciones sometidas al ajuste se les cambio la desigualdad de \leq por \geq .

Partiendo del modelo reconstruido y al obtener la solución utilizando QM for Windows, se obtiene la siguiente solución, en kilogramos mensuales para cada producto:

Tabla. 5. Solución del modelo en el segundo escenario

Fuente: Autores (2020)

	P1	P2	P3	P4
VD	83679	181275	195251	1289041

Es decir, con el fin de maximizar la ganancia mensual en la familia productos, para el próximo mes la empresa deberá producir: 83679 kg del producto 1, 181275 kg del producto 2, 195251 kg del producto 3 y 1289041 kg del producto 4. De realizar este mix (combinación), la empresa obtendría para el próximo mes una ganancia esperada de 29.934.353.649 pesos colombianos.

En este escenario en el que se entrega mayor flexibilidad en la demanda de los productos en el mercado, las restricciones resultantes con valores

diferentes a cero en el precio dual son las numero: 2,7,10 y 13, relacionadas con el mercado mínimo deseado para el producto 2, los niveles de producción deseados entre los productos 1 y 3, el tiempo en minutos mensuales de capacidad en el proceso 3 y los kilogramos mensuales de capacidad disponible en el proceso 6, respectivamente. (Ver la tabla 6).

Tabla. 6. Precios Duales para el segundo escenario

Fuente: Autores (2020)

	RHS	Dual	
Rest 2	181275	-2500	Mercado para el producto 2 (Kgs)
Rest 7	0	-6897	Niveles de produccion entre productos: Kgs
Rest 10	43200	750000	Min mensuales de capacidad en el proceso 3
Rest 13	15806	172414	Kgs mensuales de capacidad en el proceso 6

Complementariamente es importante tomar en cuenta los límites máximos o superiores de cambio para las restricciones en estudio, estos se muestran en la tabla 7:

Tabla. 7. Precios Duales para el segundo escenario

Fuente: Autores (2020)

	Upper Bounder
Rest 2	437411
Rest 7	19586
Rest 10	50517
Rest 13	37025

Al jerarquizar los impactos positivos de los precios duales sobre posibles mejoras en las ganancias de la empresa, al tener una posible modificación unitaria individualizada en el lado derecho de las restricciones 10 o 13, según las tablas 6 y 7, se tendría:

- A largo plazo, por cada minuto adicional en la capacidad mensual del proceso 3 (restricción 10), se puede impactar en el incremento de las ganancias de la empresa en 750.000 pesos colombianos. El máximo valor posible de incremento en este proceso es de minutos, es decir $50517 - 43200$ minutos.
- A largo plazo, por cada kilogramo adicional en la capacidad mensual del proceso 6 (restricción 13), se puede impactar en el incremento de las ganancias de la empresa en 172.414 pesos colombianos. El máximo valor posible de incremento en este proceso

es de minutos, es decir 37025 – 15806 kilogramos.

Por otro lado, al jerarquizar los impactos negativos de los precios duales sobre las ganancias de la empresa, al tener una posible modificación unitaria individualizada en el lado derecho de las restricciones 2 o 7, mostradas en las tablas 6 y 7, se tendría:

- A largo plazo, por kilogramo adicional de colocación del producto 2 en el mercado, traería una disminución de 2500 pesos en las ganancias de la empresa. Esta situación se mantiene vigente hasta el incremento de 256136 kilogramos, es decir 437411 – 181275 kilogramos.
- A largo plazo, por cada kilogramo adicional que se utilice en la diferencia en los niveles de producción de los productos 1 y 3 (restricción 7), traería una disminución en las ganancias de la empresa de 6897 pesos colombianos. El máximo valor posible de incremento en este proceso es 19586 kilogramos, es decir 19586 – 0 kilogramos.

Finalmente, a largo plazo es conveniente tener en cuenta que el proceso que puede limitar las oportunidades de crecimiento en relación con las capacidades de producción son el proceso 3 y el proceso 6, quienes podrían limitar las opciones de crecimiento dado que son los recursos que en primera instancia representarían los cuellos de botella. Por otro lado, es importante tener en consideración que a largo plazo el producto 2 en el mix de producción no favorece las ganancias empresariales, al igual que la política interna en niveles de producción de los productos 1 y 3.

CONCLUSIONES

A través del enfoque de sistemas aplicado a procesos de producción es factible identificar los componentes requeridos para el desarrollo de un modelo de programación lineal, desde sus salidas (productos), que dinamizan los requerimientos de los clientes (demandas) hasta considerar las entradas prioritarias del proceso como: materia prima, políticas de producción, insumos, capacidades de fabricación, entre otros.

El modelamiento bajo enfoque de sistemas permite obtener la estructura secuencial de las etapas o fases del proceso global de transformación.

La utilización de la programación lineal en procesos productivos posibilita la obtención de

soluciones óptimas en cuanto a los niveles de fabricación en familia de productos que requieren procesos similares.

El análisis de sensibilidad de los resultados aporta un dinamismo a la interpretación de la solución y sus posibles implicaciones operativas al realizar cambios en las cantidades de los recursos del proceso.

Las implicaciones del análisis de nuevos escenarios involucran resultados que incorporan implícitamente un desarrollo del mercado actual en cada uno de los productos, lo cual permite la identificación de estrategias vinculantes a largo plazo.

REFERENCIAS

- Amstrong G. y Kotler P. (2013). *Administración de Operaciones: Producción y cadena de suministros*. Duodécima edición, McGrawHill. México.
- Balogun O., Role M., Akingbade T. (2013) *Application of linear programming in a manufacturing company in feed masters, kulende, kwara State..* The International Journal of Logistics Management. DOI: 10.1108/09574090210806423
- Belfiore P. y Fávero L., (2012) *Pesquisa Operacional*. Elsevier Editora Ltda. Sao Paulo. Brasil
- Bertalanffy, L. (1968). *General System Theory*, Library of Congress, New York. United States.
- Bodhibrata, N. (2014). *Business Applications in operation research*. Business expert press. New York. United States.
- Chand N., Domakonda N., Chandan Ch., Gupta G, Garg R, Teja S., Das L., Misra A. (2017) *An Intelligent Approach to Demand Forecasting*. ICICT
- Chase A. y Otros (2006). *Administración de Operaciones: Producción y cadena de suministros*. Duodécima edición, McGrawHill. México.

- Croxton K., Lambert D., Garcia S. and Rogers D. (2002) *The Demand Management Process*. The International Journal of Logistics Management. DOI: 10.1108/09574090210806423
- Fundin A., Bergman B. (2003). *Exploring the customer feedback process*. DOI: 10.1108/13683040310477995
- Heizer J., Barry R. (2009). *Principios de administración de operaciones* 7ma edición, Pearson Education. México.
- Hillier and Lieberman (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. Novena Edición, McGraw Hill. D.F. Mexico
- JNU. (2013). *Operation Managament*, JNU (Jaipur National University), First Edition, Jaipur, India.
- Krajewski L., Ritzman L., Malhotra M. (2013). *Operations Management, Processes and supply chain*. Tenth edition, Pearson. Boston, United States.
- Lind, D. y Otros (2015). *Estadística aplicada a los negocios y la economía* 10ma edición, McGrawHill Education. China.
- Linninger S. Chowdhry V. Bahl H. Krendl H. Pinger (2001). *A systems approach to mathematical modeling of industrial processes. Computers & Chemical Engineering*. Linz, Austria
- Loginovskiy O.V, Dranko O.I. Holloy A.V. (2018). *Mathematical models for decision-making on strategic management of industrial enterprise in conditions of instability*. EMIT - CEUR. Leipzig, Germany
- Mathur K. y Solow D. (1996). *Investigación de Operaciones*. México. Prentice Hall.
- Slack, L. (2013). *Operations Management*, Pearson Education, Seventh edition. London, England.
- Stevenson (2015). *Operations Management. Twelfth edition*. MacGraw Hill Education. New York. United States.
- Taha H. (2012). *Investigación de Operaciones*. Novena edición, Pearson Educacion. México.