

**ULACIT**

**UNIVERSIDAD LATINOAMERICANA DE CIENCIA Y  
TECNOLOGIA**

Escuela de Ingeniería Industrial

**APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN LINEAL  
EN EL PLANEAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN E INVENTARIOS  
UTILIZANDO COMO MODELO UNA EMPRESA DE IMPRESIÓN**

AUTOR: Edgar Patricio Terán Mosquera  
TUTOR: Ing. Esteban Vargas Aguilar

SAN JOSÉ – COSTA RICA

DICIEMBRE, 2008

# **APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN LINEAL EN EL PLANEAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN E INVENTARIOS UTILIZANDO COMO MODELO UNA EMPRESA DE IMPRESIÓN**

**Edgar Terán Mosquera<sup>1</sup>**

## **Resumen**

Para la solución de los problemas de Planeamiento de producción e inventarios, actualmente las industrias del sector manufacturero, como por ejemplo las empresas de impresión, utilizan las técnicas de programación lineal. Este método está dando resultados satisfactorios que mejoran la competitividad.

La programación lineal es un procedimiento que resuelve un problema indeterminado, formulado a través de ecuaciones lineales, lo cual optimiza la función objetivo, es decir, que se minimizarán los costos de producción y se solucionará el problema relacionado a cuánto y cuándo producir un determinado producto del que se conoce su demanda y también las restricciones de producción e inventario.

La técnica de programación lineal, dada su concepción matemática, tiene un algoritmo de solución a las ecuaciones que resultaría complejo por medios manuales; por lo tanto, resulta indispensable y provechoso el uso de la aplicación informática Tora, que resuelve las ecuaciones en menor tiempo y con menores posibilidades de error.

La efectiva aplicación de la técnica de programación lineal para resolver los problemas de planeamiento de producción e inventarios dará como resultado mejoras evidentes en la gestión de operaciones que se verán reflejadas en una disminución de costos, elemento estratégico para el desarrollo y fortalecimiento empresarial que son pilares fundamentales para enfrentar los desafíos de la competencia.

## **Palabras clave**

Programación lineal, función objetivo, restricciones, programa de producción e inventarios, Tora, industria manufacturera.

---

<sup>1</sup> Bachiller en Ingeniería Industrial. Candidato a Licenciado en Ingeniería Industrial con énfasis en Gestión de Operaciones, ULACIT. Correo electrónico edgarsdq@yahoo.es

## **Abstract**

In order to solve production and inventory planning problems, the manufacturing industries are currently for example print enterprises using linear programming techniques. The results of this method have been satisfactory, and competitiveness improves.

Linear programming is a technique that determines the way to achieve the best outcome (such as maximum profit or lowest cost) in a given mathematical model and given some list of requirements represented as linear equations. This is the key to minimize production costs and solve the problem of how many and when to produce one product with known demand and restrictions of production and inventory.

The linear programming technique in its conception has an algorithm of solution that is complex by hand methods; therefore, it is essential and advantageous to use the software Tora, which solves equations in less time and with less possibility to make mistakes.

The effective application of the Linear Programming technique to solve planning production and inventory problems will give improvements on operation management such as decrease in costs, an strategic element to develop and strengthen of enterprises.

## **Key Words**

Lineal programming, objective function, restrictions, production and inventory program, Tora, manufacturing industry

## **Introducción**

La necesidad hegemónica de la industria en general de maximizar las utilidades o bien minimizar los costos motiva a desarrollar aplicaciones que contribuyan a la gestión industrial eficiente. Un manejo oportuno de un programa de producción e inventarios tiene gran importancia en aspectos como costos, inventarios, nivel de servicio, entre otros.

El objetivo principal que se persigue con este artículo es demostrar la aplicación de la programación lineal en el desarrollo de un modelo que solucione el problema del planeamiento de la producción e inventarios presente en cualquiera de las empresas del sector manufacturero.

Adicionalmente, y con el fin de reforzar lo esbozado, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Explicar el problema de la programación de la producción e inventarios, analizando como un ejemplo derivado de toda la industria manufacturera a una empresa de impresión (imprenta).
2. Definir las variables cuantitativas que intervienen en el modelo de planteamiento de la producción en el caso de la imprenta, tales como: costos de producción y de inventario, capacidad de producción, compromisos de despacho, etc.
3. Plantear un modelo matemático de programación lineal, cuya función objetivo minimice los costos de producción e inventarios de la imprenta y cuyas restricciones cumplan con las capacidades de producción y de saldos de inventarios.
4. Resolver las ecuaciones del modelo matemático utilizando el Tora para poder desarrollar el plan de producción en el cual se definirá la información de cuánto producir y cuánto tener de inventario para cumplir con los compromisos adquiridos dentro de un periodo de tiempo.

Al finalizar este artículo, se desea que el lector comprenda la lógica del modelo y su funcionamiento como un elemento de aplicación adaptable a cualquier empresa de la industria manufacturera y no limitado solamente a las imprentas.

## **Metodología de trabajo**

La metodología de trabajo usada para el desarrollo de este artículo se divide en cuatro etapas básicas:

### ***A. Definir y analizar la programación lineal***

El primer paso es entender la teoría de la programación lineal. Para ello se debe conocer:

- Definición de programación lineal.
- Objetivo de la programación lineal.
- Requerimientos de programación lineal.
- Limitaciones de la programación lineal.

Unificando los conceptos básicos de la programación lineal, el entendimiento de la aplicación a los problemas de planeación de la producción e inventarios será más fácil.

## ***B. Identificación del problema de programación de la producción utilizando como modelo una empresa de impresión***

Esta etapa busca identificar todo el contenido y las necesidades particulares para obtener un mapa claro de la información. Es importante definir con claridad todos los compromisos de despacho, los costos de producción y de inventarios, las restricciones de producción y las políticas de saldos de inventario de la empresa que se utiliza como modelo.

## ***C. Formulación del modelo de programación lineal***

Luego de determinar la problemática real en el modelo particular de empresa (impresión), se sintetizará la información en un modelo matemático que tenga una función objetivo que minimice los costos de producción en tiempo normal y en tiempo extra y los costos de tener en inventario productos, que también tenga ecuaciones e inecuaciones que contemplen todas las restricciones de producción y de saldos de inventarios mes a mes, y que además conserve un enfoque en la solución del problema de programación de la producción y los inventarios.

## ***D. Análisis de la solución óptima del problema de programación lineal***

Siguiendo los lineamientos prácticos de la programación lineal, se llevará a cabo una solución a las ecuaciones del modelo matemático con el apoyo del Tora, software que generará los valores óptimos de las variables; así, el lector obtiene todas las directrices para implementar un modelo de programación de producción e inventarios de una manera sencilla y eficiente.

## **MARCO TEORICO**

### **Programación lineal**

La programación lineal tiene sus inicios en los años cuarenta aproximadamente y su aplicación en los ámbitos empresariales data de no más de 30 años. Nace como una herramienta cuantitativa o cuántica (matemática), capaz de resolver procesos de decisión a través de modelos matemáticos. [1]

Hay que recordar que la toma de decisiones es un proceso de selección entre un cúmulo de alternativas, la cual puede venir basada en acciones estructuradas o simplemente en la selección simple de alguna de ellas.

La definición de Programación Lineal es clara en el sentido de que es un método científico, con aplicación de lógica matemática, por lo que se define como un procedimiento o algoritmo matemático mediante el cual se resuelve un problema indeterminado, formulado a través de ecuaciones lineales, lo cual optimiza la función objetivo, también lineal. [2]

También consiste en optimizar (minimizar o maximizar) una función lineal, que se denomina función objetivo, de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones que se expresan mediante un sistema de inecuaciones lineales. [3]

La programación lineal es aplicada a todos los ámbitos de la toma de decisiones, así que en problemas tan sencillos como la producción de libros en pequeña escala en una pequeña empresa de impresión, y tan complejos como decisiones financieras de alto impacto, puede ser utilizada esta herramienta. El objetivo que siempre busca la programación lineal es el de maximizar o minimizar alguna decisión: maximizar utilidades, minimizar costos o simplemente llegar a los valores de asignación óptima de recursos en un proceso. También hay que mencionar que la programación lineal se aplica bajo una condición determinista [4], es decir que la evolución de cualquier modelo de programación lineal estará completamente determinada o fijada por condiciones iniciales, porque se desea, en la medida de lo posible, un modelo libre de riesgo. Esto no quiere decir que la programación lineal será el mejor modelo porque en la mayoría de los casos y en la realidad estos modelos tendrán influencia de factores no controlables. Resumiendo, podríamos decir que la programación lineal consiste en planificar, organizar y establecer las mejores opciones.

También hay que saber que la Metodología de Investigación de Operaciones comprende otros modelos matemáticos adicionales, como lo son: teoría de juegos, teoría de colas, probabilidad y estadística matemática, programación dinámica, entre otras. Para efectos del desarrollo de un modelo de programación de la producción e inventario, es importante considerar algunos conceptos de la programación dinámica, que consiste en una técnica que permite determinar de manera eficiente las decisiones que optimizan el comportamiento de un sistema que evoluciona a lo largo de una serie de etapas. En otras palabras, se podría decir que busca la solución a los problemas en los que es necesario tomar decisiones en etapas sucesivas. [5]

Las decisiones tomadas en una etapa condicionarán la evolución futura del sistema, lo cual afecta las situaciones en las que el sistema se encontrará en el futuro y a las decisiones que se plantearán.

Para que un problema pueda ser resuelto con la técnica de programación dinámica, debe cumplir con las siguientes características [6]:

1. Naturaleza secuencial de las decisiones: El problema puede ser dividido en etapas.
2. Cada etapa tiene un número de estados asociados a ella.
3. La decisión óptima de cada etapa depende solo del estado actual y no de las decisiones anteriores.
4. La decisión tomada en una etapa determina cuál sería el estado de la etapa siguiente.

El procedimiento general de resolución de estas situaciones se divide en el análisis recursivo de cada una de las etapas del problema, en orden inverso, es decir, comenzando por la última y pasando en cada iteración a la etapa antecesora. El análisis de la primera etapa finaliza con la obtención del óptimo del problema.

Para plantear un problema de programación dinámica se debe identificar las etapas, estados y variables de decisión y tener en cuenta al menos que [7]:

- Cada etapa debe tener asociada una o más decisiones (problema de optimización), cuya dependencia de las decisiones anteriores está dada exclusivamente por las variables de estado.
- Cada estado debe contener toda la información relevante para la toma de decisión asociada al período.
- Las variables de decisión son aquellas sobre las cuales debemos definir su valor de modo de optimizar el beneficio acumulado y modificar el estado de la próxima etapa.

## **DESARROLLO**

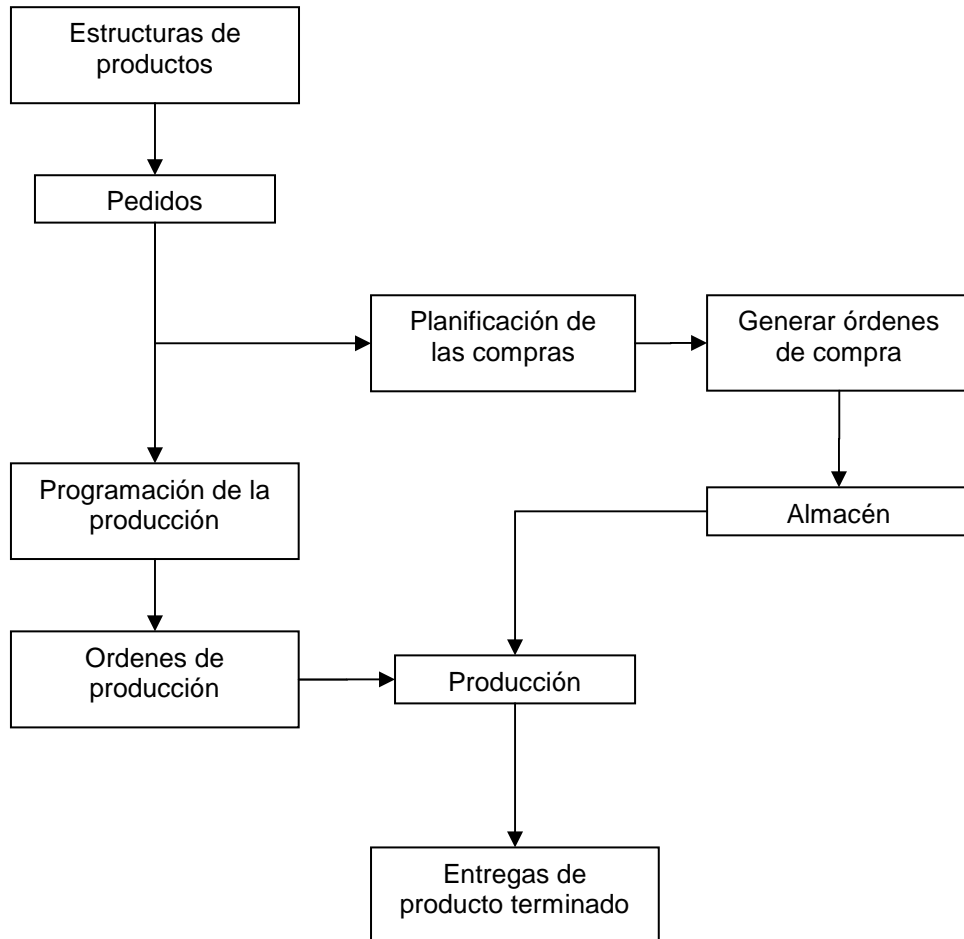
El proceso de producción de cualquier empresa del sector manufacturero tiene la misma conceptualización en términos generales, es decir, hay demanda de productos, gestión de compras, proceso de producción, gestión de ventas y todo debe funcionar dentro de un concepto de logística integral. [8]

La figura núm. 1 muestra el diagrama del proceso general de producción, de igual aplicación para cualquiera de las divisiones de actividad de la industria manufacturera: productos alimenticios, medicinas, textiles,

productos de madera, plásticos, industrias metálicas, derivados del petróleo, etc. [9]

**Figura núm. 1**

**DIAGRAMA DEL PROCESO GENERAL DE PRODUCCIÓN**



*Fuente: El autor*

Se sabe que las variaciones en el diagrama para cada empresa particular del sector manufacturero se determinan solo conociendo a fondo las políticas, los procedimientos, la cultura y la forma de trabajar de cada organización; luego se definen más procesos de administración, procesos compartidos, procesos opcionales, etc.

Ahora que se conoce cómo funciona un proceso general de producción o típico de la industria manufacturera, se centrará nuestra atención en el módulo de planeamiento de la producción, que consiste en definir el volumen y el



momento de fabricación de los productos, estableciendo un equilibrio entre la producción y la capacidad de la empresa. [10]

La planificación proporciona un marco de referencia a la toma de decisiones y resulta del proceso de conexión entre las estrategias empresariales y las estrategias de operaciones. Planificar obliga a una disciplina de estudios e investigación que genera un conocimiento que, como todo saber, es conveniente en sí mismo y contribuye a los resultados de la empresa. [11]

Ahora que se sabe de lo beneficiosa que es la planificación, se usará como modelo una empresa de impresión para transmitir con claridad la manera en que se puede planear algo tan útil y común en la industria como lo es la producción y el inventario.

El problema consiste en desarrollar un programa de producción para un periodo de seis meses con el fin de minimizar los costos totales relacionados. Hay demandas conocidas para cada periodo y un límite de capacidad para la producción. Cuando hay más producción que demanda, se acumula inventario, y cuando la producción es menor que la demanda, se trabajan horas extras. [12]

Como se mencionó anteriormente, dentro de las divisiones de actividad que tiene la industria manufacturera tenemos las empresas de productos de papel, imprentas y editoriales, se analizará el caso particular de una pequeña empresa de impresión que se compromete a despachar durante el siguiente semestre cierta cantidad de revistas especializadas. Los costos de impresión por mes que tienen estas revistas varían debido a los cambios en el costo de los materiales (papel, tintas). La capacidad de producción de la imprenta es de 1000 revistas por mes en tiempo normal y se tiene estimado que se pueden imprimir hasta 150 revistas adicionales por mes en tiempo extra.

La figura núm. 2 contiene un cuadro con los compromisos de despacho y los costos de producción por mes:

**Figura núm. 2**

**Tabla de requerimientos y costos**

	Mes					
	1	2	3	4	5	6
Compromisos de despacho (unidades)	950	850	1.100	1.150	900	1.050
Costo por unidad en tiempo normal	\$10	\$10	\$12	\$12	\$12	\$12
Costo por unidad en tiempo extra	\$14	\$14	\$16	\$16	\$16	\$16

Fuente: El autor

Los valores de los compromisos de despacho (demanda), en este caso, se puede decir que son requerimientos dados por el cliente, quien se supone ha utilizado técnicas de pronósticos para encontrar esos valores.

Como no siempre la demanda es conocida, es oportuno destacar la necesidad de hacer pronósticos.

De un pronóstico acertado dependerá la vida de cualquier empresa, ya sea que la desarrolle un individuo o una gran corporación.

Son incontables las formas que se sugieren para hacer pronósticos. Ellas van desde la intuición pura y simple, hasta sofisticados y complicados modelos deterministas, entre los que se puede mencionar: medias simples, medias móviles, nivelación o ajuste exponencial, corrección por tendencia, corrección por tendencia y estacionalidad, descomposición clásica de series de tiempo, análisis de regresión múltiple, entre otros. De tal modo, dependerá del análisis de los datos históricos el hecho de aplicar una u otra técnica. [13]

Por otra parte, los costos de producción presentados en la figura núm. 2 son los gastos necesarios para producir una unidad, y en este caso sería para imprimir una revista. Además, existe un costo de tener inventario, pues el costo para la imprenta de una unidad no vendida y almacenada es de \$1 por mes.

El problema para la imprenta está en determinar el número de revistas que debe producir en tiempo normal y en tiempo extra cada mes, para cumplir con los compromisos de despacho (demanda), al costo mínimo. La imprenta no tiene ninguna revista disponible al comenzar el primer mes y no desea tenerlas al finalizar el sexto mes.

Ahora que se han establecido y se conocen todos los parámetros que se deben tener en cuenta, cabe destacar que el lector debe tener presente que se está ilustrando una técnica que puede aplicarse a problemas extremadamente

complicados. Sin embargo, con fines explicativos se seleccionó un caso sencillo como lo es el de las imprentas.

Para entrar a detallar la forma de resolver el problema del planeamiento de la producción e inventarios con la técnica de programación lineal, primero es importante aprender a definir las variables y las ecuaciones; por lo general, la enunciación de un problema de negocios empieza por la forma de maximizar (o minimizar) una función lineal  $F$ , sujeta a restricciones de la forma de ecuaciones e inecuaciones lineales. El término formulación indica la transferencia de un problema del mundo real a un formato de ecuaciones matemáticas, y la formulación es muchas veces la parte más desafiante de un problema de negocios. [14]

Para ofrecer una solución a la imprenta se empieza por definir las variables:

$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6 =$  **Número de revistas producidas en tiempo normal cada mes.**

$Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6 =$  **Número de revistas producidas en tiempo extra cada mes.**

$Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6 =$  **Número de revistas en inventario (no vendidas) al final de cada mes.**

Entonces, la función objetivo es:

$$\text{Minimizar } F = 10X_1 + 10X_2 + 12X_3 + 12X_4 + 12X_5 + 12X_6 + 14Y_1 + 14Y_2 + 16Y_3 + 16Y_4 + 16Y_5 + 16Y_6 + Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6$$

La primera parte de la función objetivo son los costos de producción en tiempo normal, multiplicados por las cantidades producidas en tiempo normal cada mes. La segunda parte representa los costos de producción en tiempo extra, multiplicados por las cantidades producidas en tiempo extra cada mes. La tercera parte es el costo de tener en inventario revistas, que es \$1, multiplicado por el número de revistas que estuvieron en inventario cada mes.

Las restricciones de producción en tiempo normal son:

$$X_1 \leq 100$$

$$X_2 \leq 100$$

$$X_3 \leq 100$$

$$X_4 \leq 100$$

$$X_5 \leq 100$$

$$X_6 \leq 100$$

Por otro lado, las restricciones de producción en tiempo extra son:

$$Y_1 \leq 150$$

$$Y_2 \leq 150$$

$$Y_3 \leq 150$$

$$Y_4 \leq 150$$

$$Y_5 \leq 150$$

$$Y_6 \leq 150$$

Finalmente, existe un grupo de restricciones de saldo de inventario que se necesitan para conectar los periodos de tiempo y garantizar que se cumplan los compromisos de despacho (demanda). Estas restricciones son:

***Inventario inicial + producción en tiempo normal + producción en tiempo adicional = Compromisos de despacho + inventario final***

Para el mes 1, esto se convierte en:

$$0 + X_1 + Y_1 = 950 + Z_1$$

Reordenando la ecuación se obtiene:

$$\text{Mes 1: } X_1 + Y_1 - Z_1 = 950$$

De manera análoga obtenemos las ecuaciones para los meses restantes:

$$\text{Mes 2: } Z_1 + X_2 + Y_2 - Z_2 = 850$$

$$\text{Mes 3: } Z_2 + X_3 + Y_3 - Z_3 = 1100$$

$$\text{Mes 4: } Z_3 + X_4 + Y_4 - Z_4 = 1150$$

$$\text{Mes 5: } Z_4 + X_5 + Y_5 - Z_5 = 900$$

$$\text{Mes 6: } Z_5 + X_6 + Y_6 - Z_6 = 1050$$

Como el inventario final debe ser cero, una última restricción es:

$$Z_6 = 0$$

Y la restricción de no negatividad:

$$\forall X_i, Y_i, Z_i \geq 0$$

Para ejemplificar la solución de las ecuaciones de este problema se utiliza el programa de computadoras Tora, en su versión 1.00, de junio de 2002. [15]

De tal modo, se inicia el Tora, y seguidamente se selecciona Linear Programming del menú principal. Luego hay que ir a la pantalla de ingreso de datos, donde se ingresan los valores del modelo tal y como se lo ha planteado. En este ejemplo se tienen 18 variables y un total de 19 restricciones que deben ingresarse al Tora cuidadosamente, para obtener la solución que muestra la figura núm. 3.

**Figura núm. 3**

**Solución del problema**

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
<b>X<sub>1</sub></b>	<b>1000</b>
<b>X<sub>2</sub></b>	<b>1000</b>
<b>X<sub>3</sub></b>	<b>1000</b>
<b>X<sub>4</sub></b>	<b>1000</b>
<b>X<sub>5</sub></b>	<b>950</b>
<b>X<sub>6</sub></b>	<b>1000</b>
<b>Y<sub>1</sub></b>	<b>0</b>
<b>Y<sub>2</sub></b>	<b>0</b>
<b>Y<sub>3</sub></b>	<b>0</b>
<b>Y<sub>4</sub></b>	<b>50</b>
<b>Y<sub>5</sub></b>	<b>0</b>
<b>Y<sub>6</sub></b>	<b>0</b>
<b>Z<sub>1</sub></b>	<b>50</b>
<b>Z<sub>2</sub></b>	<b>200</b>
<b>Z<sub>3</sub></b>	<b>100</b>
<b>Z<sub>4</sub></b>	<b>0</b>
<b>Z<sub>5</sub></b>	<b>50</b>
<b>Z<sub>6</sub></b>	<b>0</b>

Fuente: Tora Windows- Version 1.00, de junio de 2002

Con los valores de las variables de la figura núm. 3, el valor de la función objetivo F es igual a **\$68.600**

Finalmente, y con los mismos resultados de la figura núm. 3 se procede a diseñar un cuadro resumen (figura núm. 4) de los resultados que al final de cuentas es el plan real y practico de la producción para seis meses en la empresa de impresión que se ha utilizado como modelo.

## Figura núm. 4

### Plan de producción e inventarios

<b>Mes</b>	<b>Producción (tiempo normal)</b>	<b>Producción (tiempo extra)</b>	<b>Compromiso de despacho (demanda)</b>	<b>Inventario</b>
1	1.000	0	950	50
2	1.000	0	850	200
3	1.000	0	1.100	100
4	1.000	50	1.150	0
5	950	0	900	50
6	1.000	0	1.050	0

Fuente: El autor

## Conclusiones

- El método desarrollado es un algoritmo de fácil comprender, modelar e implementar. Este método está compuesto de una serie de pasos, cuyo desarrollo requiere la formulación de ecuaciones matemáticas de programación lineal y el empleo del Tora, que en conjunto determinan la eficiencia del método.
- Para que el programa de producción proporcione buenos resultados, es de gran importancia utilizar los valores de las variables que cumplen con la función objetivo y determinan la lógica de producción para un periodo de tiempo.
- El Tora es una herramienta que posibilita una rápida y eficiente solución al modelo matemático; sin embargo, se puede llegar a esa solución desarrollando el método simplex. En la práctica, los cálculos de problemas complejos de programación lineal deben hacerse en un computador.
- La implementación de la metodología para resolver problemas de programación de la producción puede ser utilizada por otras personas, adaptándola a sus necesidades.
- En el ejemplo de la pequeña empresa de impresión, se evidenció la gran utilidad de la metodología a una situación real, ya que un modelo como el desarrollado cuyos resultados cumplen con las especificaciones en cuanto a minimizar costos, restricciones de saldo de inventario, restricciones de producción en tiempo normal y en tiempo extra, es aplicable a cualquier otra empresa utilizando la misma lógica de programación.
- Para que el programa sea útil en las empresas de todo el sector manufacturero, es necesario buscar la forma de adaptar la metodología, considerando las necesidades específicas de cada organización.



- Las empresas pueden implementar un modelo de esta naturaleza como herramienta que facilita la toma de decisiones, agilizando todo el proceso de programación de la producción.
- La metodología propuesta puede ser aplicada a las estrategias empresariales de programación de la producción y de los inventarios a cualquier escala.
- La gerencia tiene un papel esencial dentro del proceso de implementación de herramientas que facilitan la toma de decisiones y que significan un cambio para tener una mayor eficiencia, que se verá reflejada en una fortaleza orientada a satisfacer las necesidades de los clientes. Para lograrlo, es vital la planificación, la cual debe contemplar el uso de herramientas; una de ellas es un programa de producción e inventarios, el cual debe servir como impulso para el trabajo efectivo en el área de producción y, consecuentemente, en todas las áreas de la empresa, suponiendo que todas las áreas trabajan en cooperación y están coordinadas.
- Con la incorporación del uso de planes de producción, la mejora es evidente, y será más sólida si se incluyen dentro de esta forma de trabajo los departamentos de soporte como es el caso de departamentos de calidad; por tanto, el bienestar del negocio no sólo le concierne a una porción de la organización, sino que el desarrollo empresarial depende de una visión y un análisis sistémico constante, que sólo la planificación y el uso responsable de herramientas técnicas y tácticas puede promover.

## Referencias bibliográficas

- Hillier, F. *Investigación de operaciones*. McGraw Hill, México, 1998. [1]
- Moskowitz, H. Wright, G.P. *Investigación de operaciones*. Ed. Prentice Hall, México, 1991. [2]
- Fernández Lechón, R. Castrodeza, C. *Programación lineal*. Ed. Ariel Economía, 1989. [3]
- Hiller, F. Lieberman, G, *Introducción a la investigación de operaciones*. McGraw Hill, quinta edición, México, 2002. [4]
- Mathur, K. Solow, D. *Investigación de operaciones. El arte de la toma de decisiones*. Prentice Hall, México, 1996. [5]
- Infante Macías, R. *Métodos de programación matemática (I)*. UNED, 1997. [6]
- Guerrero Casas, F.M. *Curso de optimización. Programación matemática*. Ed. Ariel Economía, 1994. [7]
- Fernández, E. *Dirección de la Producción* Editorial Civitas, Madrid, 1993. [8]
- <http://cuentame.inegi.gob.mx/economia/secundario/manufacturera/default.aspx?tema=E> [9]
- Gaither, N. Frazier, G. *Administración de Producción y Operaciones*. Ed. International Thomson, cuarta edición, México, 2000. [10]
- Heizer,Render. *Dirección de la producción. Decisiones estratégicas*. Edit.Prentice Hall. 6ta. Edición. Madrid, 2001. [11]

- Barbolla, R. Cerdá, E. Sanz, P. *Optimización. Cuestiones, ejercicios y aplicaciones a la economía*. Ed. Prentice Hall, Madrid, 2000. [12]
- Hanke, J. Reitsch, A. *Pronósticos en los negocios*. Ed. Prentice Hall, México, 1996. [13]
- Taha, H.A. *Investigación de operaciones. Una introducción*. Ed. Prentice Hall, sexta edición, México, 1998. [14]
- Tora, versión 1.00, June 2002. Computer algorithms for H. Taha, *Operations Research: An Introduction*, 7th ed, 2003. [15]