



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

# **Herramienta de asignación óptima de producción**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**Ingeniera Industrial**

**P R E S E N T A**

Samantha San José Osorno

**ASESOR(A) DE INFORME**

Ing. Claudia Ivette González Hernández



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx. Noviembre, 2017**

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
1. EMPRESA	6
1.1. Historia de la empresa	6
1.2. Misión y visión	6
1.3. Organigrama	6
1.4. Descripción del puesto	7
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Planeación y control de la producción	8
2.2. Horizonte de planeación	9
2.3. Capacidad de producción	9
2.4. Plan maestro de producción	10
2.5. Modelo de transporte	11
2.6. Programación lineal	12
2.6.1. Elementos básicos del modelo matemático	13
2.6.2. La función objetivo	13
2.6.3. Las variables de decisión	14
2.6.4. Las restricciones	15
2.7. Solver	15
2.8. Visual basic	16
3. DESARROLLO DEL PROYECTO	16
3.1. Información general marca B	16
3.1.1. Productos	16
3.1.2. Capacidad de producción	17
3.1.2.1. Localización geográfica de las plantas productivas	18
3.1.3. Características del plan de producción	18
3.1.4. Costo de producción	19
3.1.5. Distribución de producto terminado	20
3.1.5.1. Localización geográfica de los almacenes	20
3.1.5.2. Cálculo de los requerimientos de producto terminado por almacén	21
3.1.5.3. Costos de distribución	22
3.2. Planteamiento del problema	22
3.2.1. Herramienta de asignación óptima	23
3.2.1.1. Descripción general y funcionamiento	23
3.2.1.2. Menú e ingreso de datos iniciales	23

3.2.1.3.	Estructura de Solver	26
3.2.1.3.1.	Función y celda objetivo	27
3.2.1.3.2.	Celdas variables	27
3.2.1.3.3.	Restricciones	28
3.2.1.3.4.	Estructura visual basic	29
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>30</b>
4.1.	Resultados obtenidos	30
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>31</b>
5.1.	Evaluación de la herramienta	31
5.2.	Conclusiones generales	33
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>34</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Funciones planeador de marca	7
Tabla 2:	Productos de la Marca B	16
Tabla 3:	Referencias que se puedan producir en cada planta	17
Tabla 4:	Capacidad de producción promedio mensual por planta	17
Tabla 5:	Mínimos y múltiplos de producción por planta	17
Tabla 6:	Plantas de producción marca B	18
Tabla 7:	Escalas de volumen por planta	19
Tabla 8:	Costos de distribución	22
Tabla 9:	Ejemplo requerimiento de producto por almacén Mes 1	24
Tabla 10:	Ejemplo costos de producción Mes 1	24
Tabla 11:	Ejemplo costos de distribución Mes 1	25
Tabla 12:	Ejemplo capacidad por planta por mes Mes 1	25
Tabla 13:	Ejemplo Múltiplo de producción por planta	25
Tabla 14:	Ejemplo asignación de producción para el horizonte de planeación	30
Tabla 15:	Ejemplo costo de producir y distribuir para el horizonte de planeación	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Organigrama Dirección Cadena de abastecimiento	7
Figura 2: Actividades horizonte de planeación	9
Figura 3: Rutas de distribución	11
Figura 4: Planteamiento problema programación lineal	13
Figura 5: Modelo de construcción función objetivo	14
Figura 6: Modelo definición de variables de decisión	14
Figura 7: Localización geográfica plantas productivas	18
Figura 8: Localización geográfica almacenes de producto terminado	20
Figura 9: Imagen menú HAPO antes y después de ser actualizado	24
Figura 10: Casilla de validación de actualización	26
Figura 11: Parámetros Solver	29

## **INTRODUCCIÓN**

El profesional de Ingeniería Industrial puede ser visto como el agente gestor del mejoramiento de la productividad, ya que los esfuerzos se dirigen a implementar el mejor proceso de producción, a través del diseño de sistemas integrados que involucran los aspectos más importantes de una empresa tales como: empleados, materiales, información, nuevas tecnologías y la energía disponible<sup>1</sup>.

En el siguiente trabajo, se muestra la aplicación del modelo de transporte para obtener la asignación de producción óptima de una marca de producto terminado, que puede fabricarse en distintos sitios de producción y que requiere ser distribuida a diversos puntos de la República Mexicana.

El objetivo del proyecto, es contar con un método numérico y estandarizado, que permita analizar de forma integral las variables involucradas en el flujo de producción y distribución de producto terminado para dar solución a los diversos escenarios planteados de forma ágil, rápida y útil para la toma de decisiones gerenciales.

El alcance del proyecto es el análisis de las variables involucradas en el flujo de producción y distribución de producto terminado, en cuatro sitios de producción y ocho almacenes de distribución.

Actualmente, el modelo de asignación propuesto se utiliza para proyectar el volumen de producción a cada planta, permitiendo contar con información objetiva y de fácil actualización, para la toma de decisiones gerenciales, la negociación de contratos comerciales con las maquilas y la red de abastecimiento de producto terminado.

## **1. EMPRESA**

### **1.1 HISTORIA DE LA EMPRESA**

La compañía en la cual laboro es una empresa innovadora dedicada a la producción y comercialización de productos de consumo masivo, con operación en México desde 2004.

Forma parte de un multinacional de consumo masivo con presencia en ocho países de Centro y Sur América.

Los segmentos de mercado en los que participa son: Bebidas, caldos, cuidado personal, refrescos y congelados.

### **1.2 MISIÓN Y VISIÓN**

#### **MISIÓN**

Dominar categorías de consumo masivo, construyendo marcas líderes y rentables, que ofrezcan una propuesta superior al consumidor popular local.

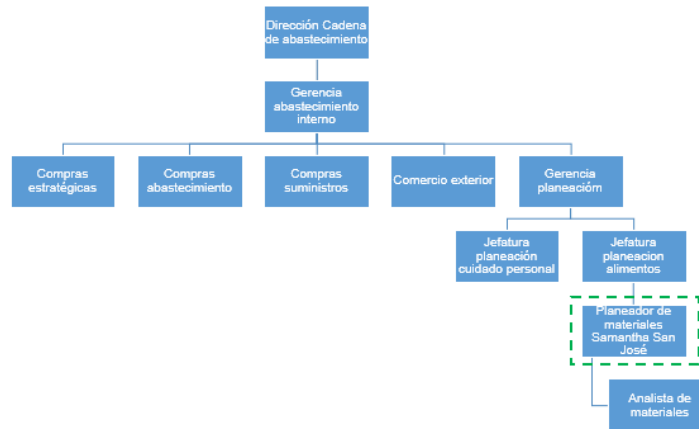
#### **VISIÓN**

Para el 2016, lograremos un nuevo salto creciendo en un 50% nuestra plataforma de ventas frente al 2014, superando las 100,000 toneladas de forma rentable.

Seremos una compañía que sorprenda al consumidor, al comercio, a nuestra gente y a las personas que nos conozcan, generando orgullo y admiración por lo que logramos y la forma cómo lo hacemos.

### **1.3 ORGANIGRAMA**

El puesto que desempeño pertenece a área de Planeación, un área tanto estratégica como operativa que pertenece a la Dirección de Cadena de Abastecimiento.



**Figura 1:** Organigrama Dirección Cadena de abastecimiento

Fuente: Elaboración propia

#### 1.4 DESCRIPCIÓN DEL PUESTO

El rol del área de planeación es: “Ser el eje central de coordinación del proceso de abastecimiento de las marcas a cargo para garantizar la disponibilidad oportuna de producto terminado que cubra la demanda nacional e internacional alineado con la dinámica del negocio, manteniendo el nivel óptimo de inventarios tanto de Producto Terminado como de Materiales, sin faltantes y al menor costo.”

Las funciones que desempeño son:

**Tabla 1:** Funciones planeador de marca

Actividad	Descripción
Planeación de la producción	<p>Garantizar contar con la política de inventario de producto terminado, dando seguimiento a los indicadores de stocks bajos y faltantes diariamente, levantando alertas de riesgo de forma oportuna y coordinando la ejecución de las acciones necesarias para evitar faltantes con otras áreas.</p> <p>Generar el plan maestro de producción con visión a 12 meses por referencia.</p> <p>Entregar plan de producción semanal al jefe de planta y dar seguimiento a su cumplimiento, reprogramando la producción cuando sea requerido.</p>
Planeación de abastecimiento de materiales	<p>Analizar el resultado del MRP (Planeación de los requerimientos de materiales), generar requisiciones correspondientes y emitir mensajes de acción sobre las órdenes de compra abiertas.</p> <p>Generar programas semanales para la entrega de materias rígid, volumétricos y materiales entregados directamente en maquilador.</p> <p>Gestionar inventario de materiales obsoletos y próximos a vencer.</p>
Lanzamientos y empalmes	Cumplir el rol de planeación y los procedimientos vinculados a las

etapas del modelo de desarrollo de nuevos productos.  
Cumplir con el procedimiento de iniciativas.  
Realizar la planeación de los empalmes de producto terminado y materiales calculando fechas de agotamiento, cambio de fórmula, proyectar datos de bajo de acuerdo a diferentes escenarios.  
Garantizar contar con el inventario de producto terminado (PT) para el lanzamiento de acuerdo a la política definida.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN**

Cuando hablamos de planeación de la producción nos referimos a los procesos administrativos que se presentan en un negocio de manufactura y que involucran la correcta adquisición de material, la disponibilidad de personal y otros recursos necesarios para crear productos terminados acordes al programa de producción. Es de gran importancia en las empresas de este sector porque brinda un mejor servicio a los clientes; permite tener menores órdenes de emergencia, mejor control en los inventarios y un uso de los equipos más eficiente; también reduce los tiempos muertos, mejora la imagen pública con entregas en tiempo y sobre todo, disminuye la inversión de capital.

De hecho, la planeación de la producción es una actividad que se genera antes del proceso productivo. Involucra los calendarios de producción, secuencias de operación, lotes económicos, prioridades de producción para los trabajos realizados y asignación de recursos.

Así, el control de la producción involucra la implementación de los calendarios de producción, las corridas productivas de nuevos productos, el inicio de la producción, el despacho de ítems, el progreso de producción y finalmente, el reporte final de la producción.

Para que una planta opere de forma eficiente en la organización, es esencial integrar el sistema de producción y control de la producción con la correcta adaptación al flujo operativo desde el diseño de productos, hasta la finalización del proceso.

Entre las herramientas utilizadas por la planeación y control de la producción (PCP) para controlar dicho flujo se encuentran la Ingeniería del Producto (Desarrollador de Productos, Configurador de Productos, Estructuras), el MRP-Planeación de Recursos Materiales (MRP I y MRP II), la curva ABC (Inventarios), la carga máquina y los apuntes de producción.

“Un sistema eficiente de planeación y control de la producción ayuda a proveer bienes al cliente con una inversión más baja, por ello es necesario en cualquier planta



independientemente de su tamaño o naturaleza”, comentó Oscar González, Gerente General para Norte de América Latina en TOTVS, el mayor fabricante de software de aplicación con sede en países emergentes.<sup>1</sup>

## 2.2 HORIZONTE DE PLANEACIÓN

Uno de las preguntas más frecuentes al generar un pronóstico es el periodo de la demanda que precisamos calcular. Es decir, si queremos calcular la demanda de un mes, un trimestre, un semestre, un año... Al período de tiempo que cubrirá el pronóstico se le conoce como horizonte de planeación, y su idoneidad depende de cuál sea nuestro objetivo al emplear la previsión de la demanda. Es muy común en la gestión de la demanda establecer horizontes de planeación no mayores a 18 meses, dado que se considera que según los cambios que afectan constantemente los procesos, los sistemas y los entornos, un período mayor arrojaría resultados muy poco confiables<sup>1</sup>.



**Figura 2:** Actividades horizonte de planeación

Fuente: [www.ingenieriaindustrialonline.com](http://www.ingenieriaindustrialonline.com)

## 2.3 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

La capacidad es definida como el volumen de producción recibido, almacenado o producido sobre una unidad de tiempo, siendo producción el bien que produce la empresa, ya sea intangible o no.

<sup>1</sup><https://www.ingenieriaindustrialonline.com>. Consulta Noviembre 2017

Una empresa puede planear su capacidad a largo, mediano o corto plazo con el fin de garantizar una producción enfocada a la estrategia de competitividad de la empresa, modificando instalaciones, mano de obra y maquinaria.

Estrategias a implementar cuando la demanda es superior a la capacidad:

- Mejora la productividad: Buscar la mejora de los procesos y los elementos que intervienen en ellos. Por ejemplo, disminuir los tiempos ociosos, balancear la línea, encontrar mejores formas de atender a los usuarios en poco tiempo, etc.
- Contratar más personal, o contratar personas más cualificadas según el tipo de negocio.
- Trabajar horas extras.
- Subcontratar la producción: Pagar a un tercero por la fabricación del producto o prestación del servicio garantizando la confidencialidad de la información sensible de la empresa.

Estrategias a implementar cuando la demanda es inferior a la capacidad:

- Recorte de personal: Evaluar los requerimientos de personal de la empresa.
- Publicidad y promoción: Empezar estrategias de publicidad y promoción del producto o servicio que incentiven la demanda. Permitir que otros mercados y sectores no atendidos por la empresa conozcan el producto. Llegar a ellos con promociones y descuentos.
- Investigación de mercados: Analizar lo que pasa con el producto o servicio y por qué no está siendo demandado<sup>2</sup>.

## 2.4 PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN

El Plan Maestro de Producción o MPS por sus siglas en inglés (Master production Schedule), establece decisiones operativas respecto a los artículos y cantidades que deben ser fabricadas en el siguiente periodo de planificación y a lo sumo considera un par de periodos más tan sólo para asegurar una disponibilidad estimada de recursos.

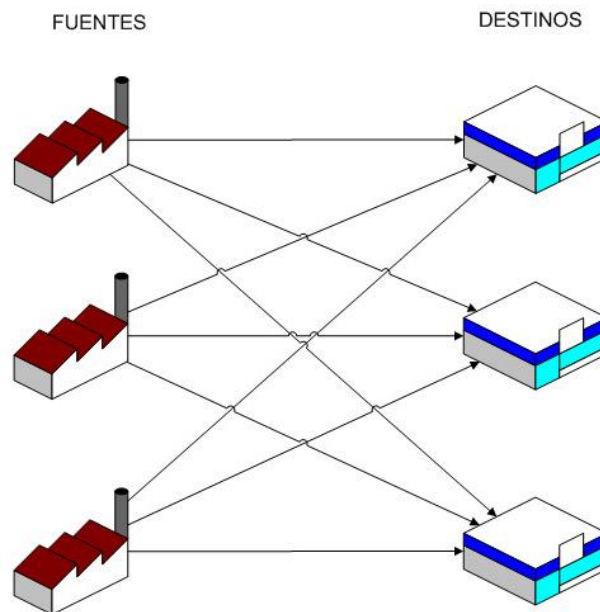
Sus características son:

- Determina qué debe hacerse y cuándo
- Se establece en términos de productos específicos y no en familias
- Es una decisión de lo que se va a producir, no un pronóstico mas<sup>1</sup>

<sup>2</sup><https://ingenioempresa.com/capacidad-producción-empresa>. Consulta Noviembre 2017

## 2.5 MODELO DE TRANSPORTE

El problema del transporte o distribución es un problema de redes especial en programación lineal que se funda en la necesidad de llevar unidades de un punto específico llamado “Fuente u Origen” hacia otro punto específico llamado “Destino”. Los principales objetivos de un modelo de transporte son la satisfacción de todos los requerimientos establecidos por los destinos y claro está la minimización de los costos relacionados con el plan determinado por las rutas escogidas.



**Figura 3:** Rutas de distribución

Fuente: [www.ingenieriaindustrialonline.com](http://www.ingenieriaindustrialonline.com)

El contexto en el que se aplica el modelo de transporte es amplio y puede generar soluciones atinentes al área de operaciones, inventario y asignación de elementos.

El procedimiento de resolución de un modelo de transporte se puede llevar a cabo mediante programación lineal común, sin embargo su estructura permite la creación de múltiples alternativas de solución a través de métodos heurísticos, es decir, de métodos que se basan en la utilización de reglas empíricas para llegar a una solución. Algunos métodos heurísticos son: Vogel, Esquina Noroeste o Mínimos Costos.

<sup>1</sup><https://www.ingenieriaindustrialonline.com>. Consulta Noviembre 2017

Los problemas de transporte o distribución son uno de los más aplicados en la economía actual, dejando como es de prever múltiples casos de éxito a escala global que estimulan la aprehensión de los mismos<sup>1</sup>.

## 2.6 PROGRAMACIÓN LINEAL

En la actualidad la programación lineal es una herramienta de uso normal que ha ahorrado miles de millones de dólares a muchas compañías o negocios, incluso a empresas medianas en los distintos países industrializados del mundo y su aplicación a otros sectores de la sociedad se ha ampliado con rapidez.

El tipo más común de aplicación abarca el problema general de asignar de la mejor manera posible, es decir, de forma óptima, recursos limitados a actividades que compiten entre sí por ellos. Con más precisión, este problema consiste en elegir el nivel de ciertas actividades que compiten por recursos escasos necesarios para realizarlas. Después los niveles de actividad que se eligen dictan la cantidad de recursos que consumirá cada una de ellas. La variedad de aplicación a la que se puede aplicar esta descripción es sin duda muy grande, ya que abarca desde la asignación de instalaciones de producción, hasta la asignación de los recursos nacionales a las necesidades de un país.

La programación lineal utiliza un modelo matemático para describir un problema. El adjetivo lineal significa que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales. En este caso, la palabra programación, no se refiere aquí a términos computacionales; en esencia es sinónimo de planeación. Por lo tanto, la programación lineal implica la planeación de actividades para obtener un resultado óptimo, esto es el resultado que mejor alcance la meta especificada, de acuerdo con el modelo matemático, entre todas las alternativas factibles<sup>3</sup>.

Como se mencionó anteriormente la programación lineal puede ser utilizada para la resolución de modelos de transporte, aunque no sea sensato resolver los modelos mediante el Método Simplex si puede ser de gran utilidad la fase de modelización, la programación carece de la practicidad de los métodos de asignación, pero puede ser de gran importancia dependiendo de la complejidad de las restricciones adicionales que puede presentar un problema particular<sup>1</sup>.

<sup>1</sup><https://www.ingenieriaindustrialonline.com>. Consulta Noviembre 2017

<sup>3</sup>HILLIER, Frederick S., LIEBERMAN, Gerald J., Introducción a la Investigación de Operaciones, Novena Edición, México: MC Graw Hill 2010

### 2.6.1 ELEMENTOS BÁSICOS DEL MODELO MATEMÁTICO

El primer paso para la resolución de un problema de optimización consiste en la identificación de los elementos básicos de un modelo matemático, estos son:

- Función Objetivo
- Variables
- Restricciones
- Condiciones de no negatividad

El siguiente paso consiste en la determinación de los mismos, para lo que se propone seguir la siguiente metodología:

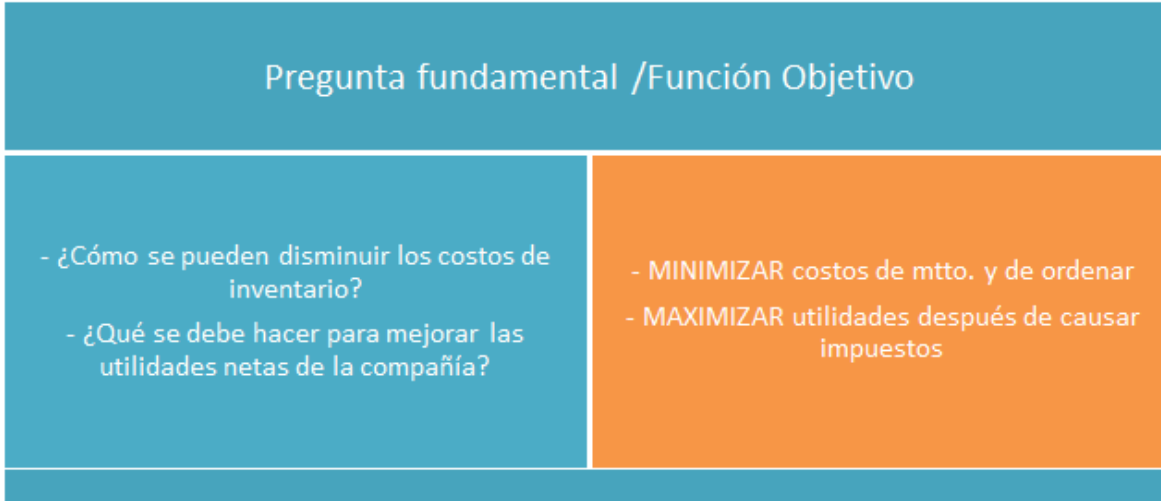


**Figura 4:** Planteamiento problema programación lineal  
Fuente: [www.ingenieriaindustrialonline.com](http://www.ingenieriaindustrialonline.com)

### 2.6.2 LA FUNCIÓN OBJETIVO

La función objetivo tiene una estrecha relación con la pregunta general que se desea responder. Sí en un modelo existieran distintas preguntas, la función objetivo se relacionaría con la pregunta del nivel superior, es decir, la pregunta fundamental. Así por ejemplo, si en una situación se desean minimizar los costos, es muy probable que la pregunta de mayor nivel sea la que se relacione con aumentar la utilidad en lugar de un interrogante que busque hallar la manera de disminuir los costos<sup>1</sup>.

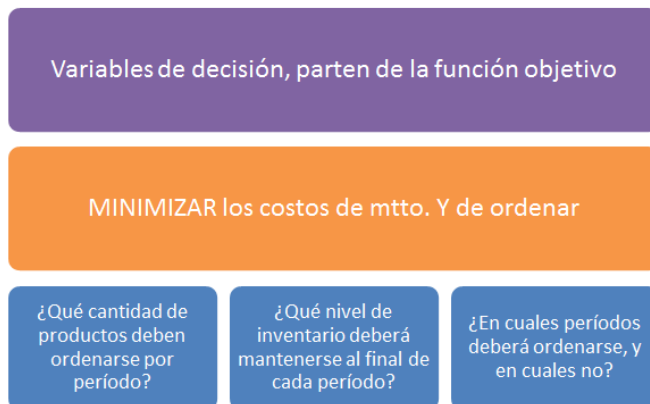
<sup>1</sup><https://www.ingenieriaindustrialonline.com>. Consulta Noviembre 2017.



**Figura 5:** Modelo de construcción función objetivo  
Fuente: [www.ingenieriaindustrialonline.com](http://www.ingenieriaindustrialonline.com)

### 2.6.3 LAS VARIABLES DE DECISIÓN

Similar a la relación que existe entre objetivos específicos y objetivo general se comportan las variables de decisión respecto a la función objetivo, puesto que estas se identifican partiendo de una serie de preguntas derivadas de la pregunta fundamental. Las variables de decisión son en teoría factores controlables del sistema que se está modelando, y como tal, estas pueden tomar diversos valores posibles, de los cuales se precisa conocer su valor óptimo, que contribuya con la consecución del objetivo de la función general del problema<sup>1</sup>.



**Figura 6:** Modelo definición de variables de decisión  
Fuente: [www.ingenieriaindustrialonline.com](http://www.ingenieriaindustrialonline.com)

<sup>1</sup><https://www.ingenieriaindustrialonline.com>. Fecha de consulta Noviembre 2017

#### 2.6.4 LAS RESTRICCIONES

Cuando hablamos de las restricciones en un problema de programación lineal, nos referimos a todo aquello que limita la libertad de los valores que pueden tomar las variables de decisión.

La mejor manera de hallarlas consiste en pensar en un caso hipotético en el que decidiéramos darle un valor infinito a nuestras variables de decisión, por ejemplo, ¿qué pasaría si en un problema que precisa maximizar sus utilidades en un sistema de producción de calzado decidiéramos producir una cantidad infinita de zapatos? Seguramente ahora nos surgirían múltiples interrogantes, como por ejemplo:

¿Con cuánta materia prima cuento para producirlos?

¿Con cuánta mano de obra cuento para fabricarlos?

¿Pueden las instalaciones de mi empresa albergar tal cantidad de producto?

¿Podría mi fuerza de mercadeo vender todos los zapatos?

¿Puedo financiar tal empresa?

Pues bueno, entonces habríamos descubierto que nuestro sistema presenta una serie de limitantes, tanto físicas, como de contexto, de tal manera que los valores que en un momento dado podrían tomar nuestras variables de decisión se encuentran condicionados por una serie de restricciones<sup>1</sup>.

#### 2.7 SOLVER

Solver es un programa de complemento de Microsoft Excel que puede usarse para encontrar un valor óptimo (mínimo o máximo) para una fórmula en una celda, la celda objetivo, que está sujeta a restricciones o limitaciones en los valores de otras celdas de fórmula de una hoja de cálculo.

Solver trabaja con un grupo de celdas llamadas celdas de variables de decisión o, simplemente, celdas de variables que se usan para calcular fórmulas en las celdas objetivo y de restricción. Solver ajusta los valores de las celdas de variables de decisión para que

cumplan con los límites de las celdas de restricción y den el resultado deseado en la celda objetivo<sup>1</sup>.

<sup>1</sup><https://www.ingenieriaindustrialonline.com>. Fecha de consulta Noviembre 2017

En resumidas cuentas, puede usar Solver para determinar el valor máximo o mínimo de una celda cambiando otras celdas. Por ejemplo, puede cambiar el importe del presupuesto de publicidad proyectado y ver el efecto en el beneficio proyectado<sup>4</sup>.

## 2.8 VISUAL BASIC

Visual Basic está diseñado para crear aplicaciones seguras y orientadas a objetos, permitiendo a los desarrolladores segmentar Windows, Web y dispositivos móviles. Al igual que con todos los lenguajes dirigidos a Microsoft .NET Framework, los programas escritos en Visual Basic se benefician de la interoperabilidad de seguridad y lenguaje.

Las características principales del lenguaje Visual Basic son: Proporciona enlaces a temas que presentan y discuten las características importantes de Visual Basic, incluidos los literales LINQ y XML<sup>5</sup>.

## 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 3.1 INFORMACIÓN GENERAL MARCA B

#### 3.1.1 PRODUCTOS

La marca B, es una marca enfocada en el mercado de consumo masivo, fabricada y distribuida en México por la compañía Q. Actualmente cuenta con 2 variedades de producto que se ofrecen al consumidor en 3 diferentes tamaños de empaque o referencias.

**Tabla 2:** Productos de la Marca B

Sabor G	Sabor M
Tamaño 1	Tamaño 1
Tamaño 2	Tamaño 2
Tamaño 3	Tamaño 3



<sup>3</sup><https://support.office.com/es-es/article/Definir-y-resolver-un-problema-con-Solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>

<sup>4</sup><https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/visual-basic>

### 3.1.2 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Cada planta cuenta con infraestructura diferente, por lo que la capacidad de producción mensual y las referencias que se pueden producir en cada planta son diferentes.

En las siguientes tablas se muestra la capacidad de producción y las referencias que pueden producir.

**Tabla 3:** Referencias que se puedan producir en cada planta

Planta	Tamaño 1	Tamaño 2	Tamaño 3
<b>P</b>	X	X	X
<b>G</b>	X		
<b>H</b>	X		
<b>M</b>	X		X

**Tabla 4:** Capacidad de producción promedio mensual por planta [Millones de piezas]

Maquila	Piezas/mes
<b>P</b>	5,000,000
<b>G</b>	3,000,000
<b>H</b>	1,500,000
<b>M</b>	8,000,000

Como se observa en la tabla 3, la planta “P” es la única capaz de producir todas las referencias, mientras que el resto de las plantas tienen solo una o dos referencias validadas, por lo que la planta “P” es clave para la operación de la marca B.

Adicionalmente, por temas operativos y comerciales existen mínimos y múltiplos de producción definidos para las plantas G y H que deben considerarse en la planeación y control de la producción.

**Tabla 5:** Mínimos y múltiplos de producción por planta

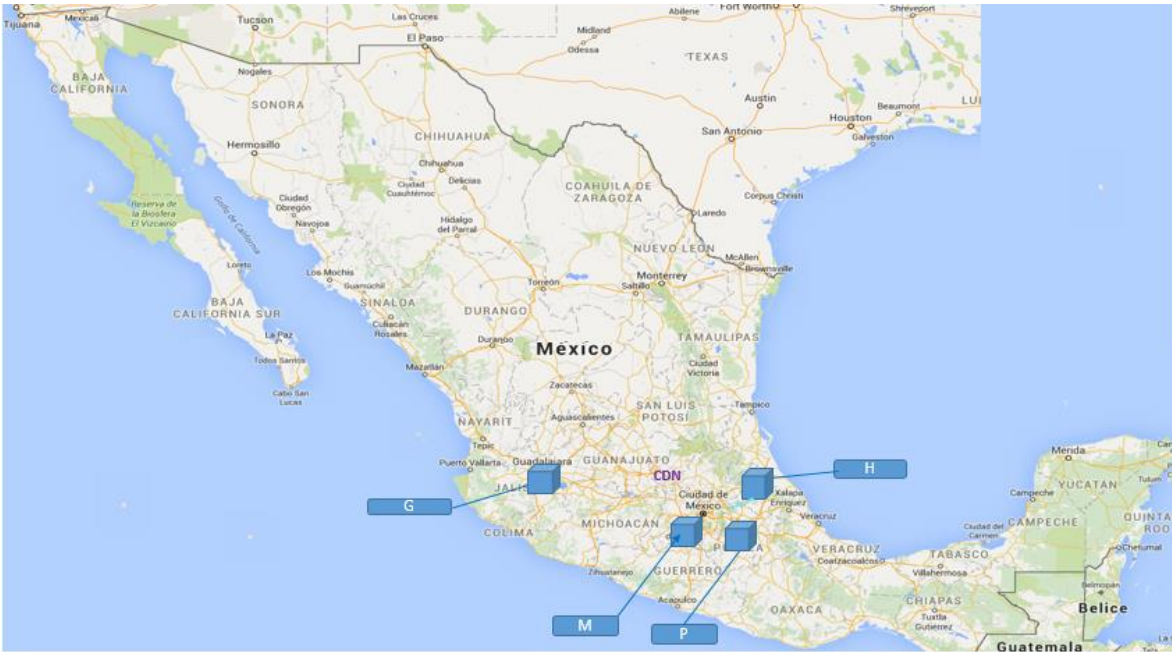
Planta	Mínimo de producción	Múltiplo
G	1,008,000	1,008,000
H	1,008,000	1

### 3.1.2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE PLANTAS PRODUCTIVAS

La marca B puede ser producida en 4 plantas localizadas en diferentes puntos de la República Mexicana (P, H, G y M).

**Tabla 6:** Plantas de producción marca B

Planta	Localización
P	Puebla
H	Hidalgo
G	Guadalajara
M	Estado de México



**Figura 7:** Localización geográfica plantas productivas.

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3 CARACTERÍSTICAS PLAN DE PRODUCCIÓN

El plan de producción de la marca B, tiene las siguientes características:

1. Indica la cantidad de producto terminado que se requiere producir para satisfacer el estimado de ventas definido para cada producto, así como garantizar que los niveles de inventario se mantengan de acuerdo con la política de seguridad definida a nivel nacional.
2. La entrada para el cálculo de requerimientos de producción son los estimados de venta a nivel nacional.
3. Tiene un horizonte de planeación de 12 meses
4. Considera como restricción la capacidad total a nivel nacional por referencia
5. No realiza una asignación por planta.

#### 3.1.4 COSTO DE PRODUCCIÓN.

El costo de producción es el costo que la compañía Q pagará por la producción de una pieza de producto terminado de la marca B y es la sumatoria de los siguientes elementos:

- Costo de materias primas: Incluye materias primas, material de empaque e insumos.
- Costo de transporte de las materias primas a la planta productiva: Es el costo de transportar los materiales requeridos para la producción desde el almacén de materiales de la compañía Q a la planta de producción definida.
- Costos indirectos: Costo de servicios necesarios para producir (agua, luz, etc)
- Costo de mano de obra: Es el costo asociado al pago del personal operativo y administrativo involucrado en la producción.
- Costo de subcontrato: Es el costo que la maquila cobrará a la compañía Q por la producción de unidades de la marca b.

El costo de mano de obra y el costo de subcontrato son variables y dependen del volumen asignado a cada planta de producción. A continuación se especifican las escalas volumen definidas:

**Tabla 7:** Escalas de volumen por planta

Planta	Mínimo	Máximo
P	-	500
P	501	999
G	-	150
G	151	300
G	301	500
G	501	1,998

H	-	699
M	-	999
M	1,000	1,499
M	1,500	2,498

### 3.1.5 DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTO TERMINADO

#### 3.1.5.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE ALMACENES

Para la distribución del producto terminado a los clientes, la Marca B cuenta con 8 almacenes localizados en diversos puntos de la República Mexicana. 1

1. Tijuana
2. Chihuahua
3. Monterrey
4. Guadalajara
5. Puebla
6. Valle de México
7. Estado de México
8. Villahermosa



**Figura 8:** Localización geográfica almacenes de producto terminado

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.5.2 CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS DE PRODUCTO POR ALMACÉN

El requerimiento de producto terminado por almacén es la cantidad de producto que debe ser distribuido a cada almacén para satisfacer su estimado de venta, así como garantizar que los niveles de inventario se mantengan de acuerdo con la política de seguridad definida.

Dado que, por definición el plan de producción por referencia considera el estimado de venta y la política de inventario a mantener por referencia a nivel nacional, concluimos que al distribuir el 100% del plan de producción por referencia en los almacenes disponibles, el requerimiento de producto por almacén quedará cubierto.

Por lo tanto, para calcular el requerimiento de producto de un almacén específicamente, es necesario determinar la proporción del plan de producción que deberá ser distribuido hacia ese almacén.

Para determinar esta proporción, es necesario comparar la venta promedio de la referencia en el último trimestre a nivel nacional contra la venta promedio de la referencia en el almacén analizado y multiplicar este porcentaje por el plan de producción a nivel nacional para esa referencia.

Este cálculo se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$DRP_{ij} = \frac{V_{pj}}{V_{aij}} \times P_{pj}$$

En donde:

- V<sub>p</sub> = Promedio de venta por referencia a nivel nacional en el último trimestre
- V<sub>ai</sub> = Promedio de venta por referencia del almacén en el último trimestre
- P<sub>pj</sub> = Plan de producción por referencia a nivel nacional

NOTA: La unidad de medida en la que están expresadas las ventas y por lo tanto los requerimientos de producto por almacén será TC. Esta unidad es una equivalencia propuesta para garantizar la confidencialidad de la información utilizada para la elaboración de este trabajo.

### 3.1.5.3 COSTOS DE DISTRIBUCIÓN

El costo de distribución es el costo que la compañía Q pagará por la distribución del producto de la marca B desde la planta productiva hacia el almacén destino.

En la siguiente tabla se muestran los costos de transporte estimados considerando una unidad tipo tráiler.

**Tabla 8:** Costos de distribución

PLANTA	TIJUANA	CHIHUAHUA	MONTERREY	GUADALAJARA	PUEBLA	Valle de México	Estado de México	VILLAHERMOSA
<b>P</b>	\$ 57,000	\$ 41,100	\$ 18,000	\$ 17,000	\$ 2,200	\$ 7,000	\$ 8,600	\$ 19,000
<b>G</b>	\$ 52,000	\$ 43,500	\$ 25,700	\$ 3,500	\$ 20,000	\$ 14,500	\$ 13,147	\$ 36,500
<b>H</b>	\$ 57,000	\$ 42,500	\$ 23,000	\$ 18,500	\$ 15,000	\$ 8,400	\$ 10,000	\$ 32,000
<b>M</b>	\$ 55,000	\$ 32,500	\$ 17,000	\$ 13,147	\$ 8,600	\$ 5,100	\$ -	\$ 25,736

### 3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La compañía Q dispone de 4 plantas para fabricar el plan de producción definido para todas las referencias de la marca B. El total del plan de producción será distribuido a los 8 almacenes con los que cuenta la compañía Q en la República Mexicana.

Para determinar la cantidad de producción que se asignará a cada planta propuse el uso del modelo de transporte y su resolución a través de programación lineal.

Para encontrar la solución numérica al modelo planteado y, entendiendo que el programa de producción de la marca B tiene constantes ajustes a lo largo del mes, y que la compañía Q tiene el requerimiento de contar con información integral para la toma de decisiones, es necesario contar con una herramienta que considere todas las variables involucradas en el flujo de abastecimiento de producto terminado, que procese la información de forma rápida y

eficiente para obtener resultados apegados a la realidad de la operación de la marca B, que sea fácil de actualizar y que permita el análisis del horizonte de planeación completo.

### 3.2.1 HERRAMIENTA DE ASIGNACIÓN DE PRODUCCIÓN ÓPTIMA

Para dar solución al problema planteado, conceptualicé e implementé la “Herramienta de asignación de producción óptima”, por sus siglas HAPO. Esta herramienta está diseñada con una interfaz amigable que guía al usuario paso a paso para garantizar la correcta actualización de la información de entrada en la herramienta, su ejecución, y la obtención de resultados para el horizonte de planeación, en unos cuantos segundos.

#### 3.2.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL Y FUNCIONAMIENTO

La herramienta de asignación de producción óptima (HAPO) es una solución en Excel, diseñada y programada para determinar la cantidad de producción que se asignará a cada planta por referencia.

Los fundamentos principales de esta herramienta son el modelo de transporte y la programación lineal, ya que HAPO resuelve la necesidad de llevar unidades (producto) desde un “punto fuente” (la planta de producción), a un “punto destino” (el almacén de producto terminado), cumpliendo los dos objetivos principales de un modelo de transporte: satisfacer los requerimientos establecidos y minimizar el costo relacionado a las operaciones involucradas.

HAPO combina la funcionalidad del complemento de Excel llamado Solver con un código de programación en lenguaje Visual Basic para encontrar la solución a la función de minimización de costos planteada para los 12 meses en el plan de producción, considerando las restricciones operativas y haciendo la evaluación del costo de producción por escalas de volumen que se tiene definido en cada planta.

#### 3.2.1.2 MENÚ E INGRESO DE DATOS INICIALES

HAPO cuenta con un menú de inicio que funciona con hipervínculos que guían al usuario hacia las diferentes hojas del libro de Excel, indicándole la información que debe ser actualizada o validada para el correcto funcionamiento de la herramienta.

De forma inicial, el menú tiene botones color naranja que cambiarán a color verde cuando el usuario haya actualizado o validado la información correspondiente.



**Figura 9:** Imagen menú HAPO antes y después de ser actualizado

Fuente: Elaboración propia.

La información que el usuario debe actualizar o validar, cada vez que se corra la herramienta es:

- Requerimiento de producto por almacén con un horizonte de 12 meses: Es la cantidad de producto que debe ser distribuido a cada almacén.

**Tabla 9:** Ejemplo requerimiento de producto por almacén Mes 1

PRESTACIÓN	TIJUANA	CHIHUAHUA	MONTERREY	GUADALAJARA	PUEBLA	VALLE DE MEXICO	ESTADO DE MEXICO	VILLAHERMOSA
Tamaño 1G	34	34	69	219	156	326	483	78
Tamaño 1M	7	6	12	20	15	46	48	11
Tamaño 2G	0	0	0	0	0	0	30	0
Tamaño 2M	0	0	0	0	0	0	48	0
Tamaño 3G	5	4	10	23	17	41	69	11
Tamaño 3M	0	0	1	1	1	2	0	1

- Costo de producir: Es el costo de producir una unidad considerando el costo de mano de obra o subcontrato que corresponda a la escala de volumen definida por planta.

**Tabla 10:** Ejemplo costos de producción Mes 1



COSTO DE PRODUCIR									
PLANTA	REFERENCIA	TIJUANA	CHIHUAHUA	MONTERREY	GUADALAJARA	PUEBLA	VALLE DE MEXICO	ESTADO DE MEXICO	VILLAHERMOSA
P	Tamaño 1G	\$ 2.97	\$ 2.97	\$ 2.97	\$ 2.97	\$ 2.97	\$ 2.97	\$ 2.97	\$ 2.97
P	Tamaño 1M	\$ 3.05	\$ 3.05	\$ 3.05	\$ 3.05	\$ 3.05	\$ 3.05	\$ 3.05	\$ 3.05
P	Tamaño 2G	\$ 3.33	\$ 3.33	\$ 3.33	\$ 3.33	\$ 3.33	\$ 3.33	\$ 3.33	\$ 3.33
P	Tamaño 2M	\$ 3.34	\$ 3.34	\$ 3.34	\$ 3.34	\$ 3.34	\$ 3.34	\$ 3.34	\$ 3.34
P	Tamaño 3G	\$ 3.79	\$ 3.79	\$ 3.79	\$ 3.79	\$ 3.79	\$ 3.79	\$ 3.79	\$ 3.79
P	Tamaño 3M	\$ 3.80	\$ 3.80	\$ 3.80	\$ 3.80	\$ 3.80	\$ 3.80	\$ 3.80	\$ 3.80
G	Tamaño 1G	\$ 3.24	\$ 3.24	\$ 3.24	\$ 3.24	\$ 3.24	\$ 3.24	\$ 3.24	\$ 3.24
G	Tamaño 1M	\$ 3.52	\$ 3.52	\$ 3.52	\$ 3.52	\$ 3.52	\$ 3.52	\$ 3.52	\$ 3.52
G	Tamaño 2G	\$ 3.80	\$ 3.80	\$ 3.80	\$ 3.80	\$ 3.80	\$ 3.80	\$ 3.80	\$ 3.80
G	Tamaño 2M	\$ 3.81	\$ 3.81	\$ 3.81	\$ 3.81	\$ 3.81	\$ 3.81	\$ 3.81	\$ 3.81
G	Tamaño 3G	\$ 4.36	\$ 4.36	\$ 4.36	\$ 4.36	\$ 4.36	\$ 4.36	\$ 4.36	\$ 4.36
G	Tamaño 3M	\$ 4.37	\$ 4.37	\$ 4.37	\$ 4.37	\$ 4.37	\$ 4.37	\$ 4.37	\$ 4.37
H	Tamaño 1G	\$ 2.99	\$ 2.99	\$ 2.99	\$ 2.99	\$ 2.99	\$ 2.99	\$ 2.99	\$ 2.99
H	Tamaño 1M	\$ 2.98	\$ 2.98	\$ 2.98	\$ 2.98	\$ 2.98	\$ 2.98	\$ 2.98	\$ 2.98
H	Tamaño 2G	\$ 3.29	\$ 3.29	\$ 3.29	\$ 3.29	\$ 3.29	\$ 3.29	\$ 3.29	\$ 3.29
H	Tamaño 2M	\$ 3.29	\$ 3.29	\$ 3.29	\$ 3.29	\$ 3.29	\$ 3.29	\$ 3.29	\$ 3.29
H	Tamaño 3G	\$ 3.68	\$ 3.68	\$ 3.68	\$ 3.68	\$ 3.68	\$ 3.68	\$ 3.68	\$ 3.68
H	Tamaño 3M	\$ 3.62	\$ 3.62	\$ 3.62	\$ 3.62	\$ 3.62	\$ 3.62	\$ 3.62	\$ 3.62
M	Tamaño 1G	\$ 2.34	\$ 2.34	\$ 2.34	\$ 2.34	\$ 2.34	\$ 2.34	\$ 2.34	\$ 2.34
M	Tamaño 1M	\$ 2.34	\$ 2.34	\$ 2.34	\$ 2.34	\$ 2.34	\$ 2.34	\$ 2.34	\$ 2.34
M	Tamaño 2G	\$ 2.77	\$ 2.77	\$ 2.77	\$ 2.77	\$ 2.77	\$ 2.77	\$ 2.77	\$ 2.77
M	Tamaño 2M	\$ 2.77	\$ 2.77	\$ 2.77	\$ 2.77	\$ 2.77	\$ 2.77	\$ 2.77	\$ 2.77
M	Tamaño 3G	\$ 2.89	\$ 2.89	\$ 2.89	\$ 2.89	\$ 2.89	\$ 2.89	\$ 2.89	\$ 2.89
M	Tamaño 3M	\$ 3.06	\$ 3.06	\$ 3.06	\$ 3.06	\$ 3.06	\$ 3.06	\$ 3.06	\$ 3.06

- Costo de distribución: Costo de transportar el producto desde la planta productiva hacia el almacén destino.

Tabla 11: Ejemplo costos de distribución Mes 1

COSTO DE DISTRIBUIR									
PLANTA	REFERENCIA	TIJUANA	CHIHUAHUA	MONTERREY	GUADALAJARA	PUEBLA	VALLE DE MEXICO	ESTADO DE MEXICO	VILLAHERMOSA
P	Tamaño 1G	\$ 1.31	\$ 0.67	\$ 0.49	\$ 0.38	\$ 0.05	\$ 0.17	\$ 0.18	\$ 0.39
P	Tamaño 1M	\$ 1.31	\$ 0.67	\$ 0.49	\$ 0.38	\$ 0.05	\$ 0.17	\$ 0.18	\$ 0.39
P	Tamaño 2G	\$ 1.31	\$ 0.67	\$ 0.49	\$ 0.38	\$ 0.05	\$ 0.17	\$ 0.18	\$ 0.39
P	Tamaño 2M	\$ 1.31	\$ 0.67	\$ 0.49	\$ 0.38	\$ 0.05	\$ 0.17	\$ 0.18	\$ 0.39
P	Tamaño 3G	\$ 1.57	\$ 0.81	\$ 0.59	\$ 0.46	\$ 0.06	\$ 0.20	\$ 0.21	\$ 0.47
P	Tamaño 3M	\$ 1.57	\$ 0.81	\$ 0.59	\$ 0.46	\$ 0.06	\$ 0.20	\$ 0.21	\$ 0.47
G	Tamaño 1G	\$ 1.09	\$ 0.53	\$ 0.36	\$ 0.06	\$ 0.38	\$ 0.32	\$ 0.27	\$ 0.71
G	Tamaño 1M	\$ 1.09	\$ 0.53	\$ 0.36	\$ 0.06	\$ 0.38	\$ 0.32	\$ 0.27	\$ 0.71
G	Tamaño 2G	\$ 1.09	\$ 0.53	\$ 0.36	\$ 0.06	\$ 0.38	\$ 0.32	\$ 0.27	\$ 0.71
G	Tamaño 2M	\$ 1.09	\$ 0.53	\$ 0.36	\$ 0.06	\$ 0.38	\$ 0.32	\$ 0.27	\$ 0.71
G	Tamaño 3G	\$ 1.31	\$ 0.64	\$ 0.43	\$ 0.07	\$ 0.46	\$ 0.38	\$ 0.32	\$ 0.86
G	Tamaño 3M	\$ 1.31	\$ 0.64	\$ 0.43	\$ 0.07	\$ 0.46	\$ 0.38	\$ 0.32	\$ 0.86
H	Tamaño 1G	\$ 1.33	\$ 0.64	\$ 0.46	\$ 0.36	\$ 0.20	\$ 0.16	\$ 0.20	\$ 0.49
H	Tamaño 1M	\$ 1.33	\$ 0.64	\$ 0.46	\$ 0.36	\$ 0.20	\$ 0.16	\$ 0.20	\$ 0.49
H	Tamaño 2G	\$ 1.33	\$ 0.64	\$ 0.46	\$ 0.36	\$ 0.20	\$ 0.16	\$ 0.20	\$ 0.49
H	Tamaño 2M	\$ 1.33	\$ 0.64	\$ 0.46	\$ 0.36	\$ 0.20	\$ 0.16	\$ 0.20	\$ 0.49
H	Tamaño 3G	\$ 1.60	\$ 0.77	\$ 0.55	\$ 0.43	\$ 0.24	\$ 0.20	\$ 0.24	\$ 0.59
H	Tamaño 3M	\$ 1.60	\$ 0.77	\$ 0.55	\$ 0.43	\$ 0.24	\$ 0.20	\$ 0.24	\$ 0.59
M	Tamaño 1G	\$ 1.25	\$ 0.66	\$ 0.30	\$ 0.25	\$ 0.16	\$ 0.12	\$ 0.06	\$ 0.50
M	Tamaño 1M	\$ 1.25	\$ 0.66	\$ 0.30	\$ 0.25	\$ 0.16	\$ 0.12	\$ 0.06	\$ 0.50
M	Tamaño 2G	\$ 1.25	\$ 0.66	\$ 0.30	\$ 0.25	\$ 0.16	\$ 0.12	\$ 0.06	\$ 0.50
M	Tamaño 2M	\$ 1.25	\$ 0.66	\$ 0.30	\$ 0.25	\$ 0.16	\$ 0.12	\$ 0.06	\$ 0.50
M	Tamaño 3G	\$ 1.50	\$ 0.79	\$ 0.36	\$ 0.30	\$ 0.19	\$ 0.15	\$ 0.08	\$ 0.60
M	Tamaño 3M	\$ 1.50	\$ 0.79	\$ 0.36	\$ 0.30	\$ 0.19	\$ 0.15	\$ 0.08	\$ 0.60

- Capacidad por planta y múltiplo de producción

Tabla 12: Ejemplo capacidad por planta por mes Mes 1

CAPACIDAD [Pzas/mes]												
Planta	MES1	MES2	MES3	MES4	MES5	MES6	MES7	MES8	MES9	MES10	MES11	MES12
P	1,384	1,384	1,384	1,384	1,384	1,384	1,384	1,384	1,384	1,384	1,384	1,384
G	1,107	1,107	1,107	1,107	1,107	1,107	1,107	1,107	1,107	1,107	1,107	1,107
H	553	553	553	553	553	553	553	553	553	553	553	553
M	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798

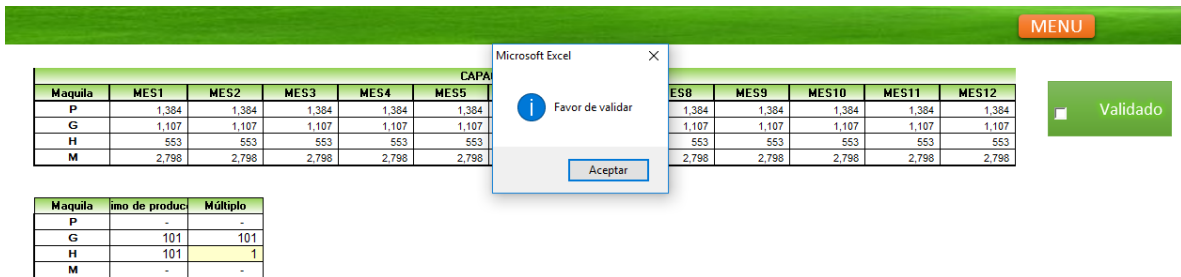
Tabla 13: Ejemplo múltiplo de producción por planta

Maquila	Múltiplo
---------	----------

<b>P</b>	-
<b>G</b>	101
<b>H</b>	1
<b>M</b>	-

En cada hoja de información se tiene una casilla en la que el usuario deberá dar click en señal de que la información se encuentra validada antes de poder continuar el proceso. Este control se agregó con el objetivo de garantizar que el usuario revise la información de entrada a pesar de que no requiera actualizarla.

La información de “Capacidad por planta”, “Costos” y “Múltiplo de producción” serán actualizados cada 3 meses, sin embargo deben validarse cada vez que se corra la herramienta.



**Figura 10:** Casilla de validación de actualización

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.3 ESTRUCTURA SOLVER

El complemento Solver encontrará la solución óptima a la función objetivo definida de acuerdo a los datos de entrada y las restricciones planteadas, ejecutando un proceso iterativo de programación lineal similar aplicando el algoritmo del método simplex.

Para obtener la asignación final de producción para cada mes se realizan 2 corridas. A continuación describiré cada una de ellas.

1era Corrida: Asignación preliminar

En esta corrida, se toman los datos de entrada para el mes evaluado y se utiliza el complemento solver para obtener un primer resultado a la función objetivo planteada, considerando las siguientes 3 restricciones:

1. Las cantidades asignadas deben ser número positivos mayores a 0.
2. La sumatoria de la cantidad asignada a las plantas de producción por almacén, debe ser igual al requerimiento de producto de ese almacén.
3. La cantidad asignada a las plantas de producción debe ser menor o igual a la capacidad de la planta de producción.

El costo de producción considerando para esta corrida, es el costo más alto definido para cada planta, es decir, el que corresponde a la menor escala de volumen. Esto con el objetivo de no asumir de manera anticipada un beneficio en costo que puede o no, obtenerse de acuerdo al volumen asignado.

#### 2da Corrida: Asignación definitiva

En la segunda corrida, se ajusta el costo de producción considerado de acuerdo con la escala de volumen correspondiente al volumen asignado en la etapa 1 y se agrega una restricción a Solver para garantizar que el volumen asignado de forma preliminar se ajuste a los múltiplos de producción definidos en cada planta. Posteriormente, se realiza una nueva evaluación en Solver considerando las 4 restricciones y el nuevo costo asignado para obtener un segundo resultado a la función objetivo planteada.

4. La cantidad asignada a cada planta de producción debe ser múltiplo de la cantidad definida como múltiplo de producción para esa planta.

#### 4.2.1.3.1. FUNCIÓN Y CELDA OBJETIVO

La función de minimización o función objetivo planteada en HAPO es la sumatoria de los costos involucrados en la producción y distribución de cada referencia (6) en cada planta (4) y hacia cada almacén (8). En total, es la suma de 192 combinaciones que serán consideradas en la evaluación realizada.

La celda objetivo, será aquella en la que se coloque la solución a la función objetivo planteada. En la hoja de ejecución de HAPO, el resultado de la función objetivo se encuentra en la celda I58.

#### 4.2.1.3.2. CELDAS VARIABLES

Las combinaciones consideradas en la función objetivo, serán representadas en Excel de forma matricial, siendo el eje de las "X" los almacenes destino, y el eje de las "Y" la combinación planta referencia. Las celdas incluidas en esta matriz, serán las celdas variables.

Solver realizará las iteraciones necesarias y modificará los valores de éstas celdas para encontrar las cantidades que cumplan con las restricciones de capacidad planteadas y que al ser evaluadas bajo la ecuación formulada para la función objetivo, representen el menor costo.

El valor de cada celda variable será la cantidad que debe ser producida de cada referencia en cada planta para ser distribuida al almacén destino indicado. Por lo tanto, el conjunto de celdas variables será la asignación de producción óptima.

En la hoja de ejecución de HAPO las celdas variables se encuentran en el rango J89:Q112.

#### 4.2.1.3.3. RESTRICCIONES

Restricciones de demanda:

1. Las cantidades asignadas deben ser número positivos mayores a 0.
2. La sumatoria de la cantidad asignada a las plantas de producción por almacén, debe ser igual al requerimiento de producto de ese almacén.

En la hoja de ejecución de HAPO se compararán los valores del rango de celdas J81:Q86 "Requerimiento de producto por almacén" versus el rango J40:Q45 "Producción asignada por planta".

Restricciones de oferta:

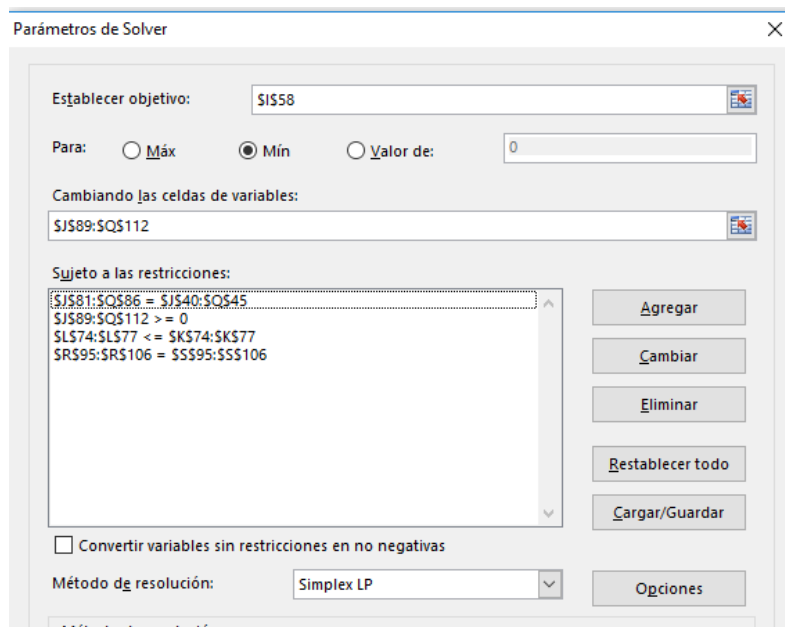
- 3- La cantidad asignada a las plantas de producción debe ser menor o igual a la capacidad de la planta de producción.

En la hoja de ejecución de HAPO se compararán los valores del rango de celdas K74:K77 "Capacidad de producción" versus el rango L74:L77 "Cantidad asignada a la planta".

- 4- La cantidad asignada a cada planta de producción debe ser múltiplo de la cantidad definida como múltiplo de producción para esa planta.

En la hoja de ejecución de HAPO se compararán los valores del rango de celdas R95:R106 “Cantidad asignada por planta” versus el rango S95:S106 “Múltiplo de producción por planta”.

A continuación se muestra la pantalla de parametrización de Solver.



**Figura 11:** Parámetros Solver

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1.3.4. ESTRUCTURA VISUAL BASIC

El código de programación en Visual Basic permitirá el flujo continuo de los cálculos en solver, de forma que al obtenerse la asignación final de producción para el mes 1, el código registrará

en una tabla de Excel los resultados obtenidos y actualizará los datos de entrada para ejecutar el proceso correspondiente al mes 2, y así sucesivamente hasta encontrar la solución óptima para la asignación final de los requerimientos de producto por almacén para los 12 meses de horizonte.

De igual forma, este código permite actualizar la información considerada para la 2nda corrida en Solver, es decir, actualizar el costo de producción por escalas de volumen y agregar la 4arta restricción considerada.

Para la construcción del código en Visual Basic trabajé en conjunto con el Licenciado César Hernández, quien realizó la programación necesaria para cumplir con los objetivos conceptualizados en la herramienta.

## 5. RESULTADOS

### 5.1.RESULTADOS OBTENIDOS

La herramienta funciona de forma automática resolviendo la función objetivo y registrando los resultados obtenidos para los 12 meses del horizonte de planeación en un tiempo estimado de 16 segundos.

Al finalizar la ejecución de HAPO, los resultados obtenidos son:

- Asignación de producción por planta por referencia por mes

**Tabla 14:** Ejemplo asignación de producción para el horizonte de planeación

Planta	Presetación	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
P	Tamaño 1G	234	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	Tamaño 1M	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	Tamaño 2G	-	109	112	87	67	68	199	207	158	110	115	89
P	Tamaño 2M	-	60	32	61	32	40	65	67	57	47	53	54
P	Tamaño 3G	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	Tamaño 3M	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	Tamaño 1G	-	1,559	1,264	1,288	991	1,240	1,559	1,964	2,173	1,690	1,693	1,206
G	Tamaño 1M	-	176	219	193	149	186	167	266	318	264	174	181
G	Tamaño 2G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	Tamaño 2M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	Tamaño 3G	-	232	2	175	68	173	224	256	202	143	188	295
G	Tamaño 3M	-	26	25	-	-	-	27	23	11	12	23	-
H	Tamaño 1G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

H	Tamaño 1M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	Tamaño 2G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	Tamaño 2M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	Tamaño 3G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	Tamaño 3M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	Tamaño 1G	1,165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	Tamaño 1M	139	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	Tamaño 2G	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	Tamaño 2M	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	Tamaño 3G	152	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	Tamaño 3M	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- Costo de producir y distribuir la cantidad requerida de producto por almacén por mes

**Tabla 15:** Ejemplo costo de producir y distribuir para el horizonte de planeación

		TIJUANA	CHIHUAHUA	MONTERREY	GUADALAJARA	PUEBLA	VALLE / IZTAPALAPA	CDN	VILLAHERMOSA
MES 1	\$ 331	\$ 60	\$ 30	\$ 28	\$ 66	\$ 10	\$ 53	\$ 44	\$ 40
MES 2	\$ 691	\$ 60	\$ 28	\$ 39	\$ 19	\$ 84	\$ 156	\$ 220	\$ 85
MES 3	\$ 518	\$ 46	\$ 22	\$ 29	\$ 14	\$ 63	\$ 118	\$ 163	\$ 63
MES 4	\$ 573	\$ 50	\$ 23	\$ 32	\$ 16	\$ 69	\$ 129	\$ 184	\$ 70
MES 5	\$ 412	\$ 36	\$ 17	\$ 23	\$ 12	\$ 50	\$ 93	\$ 131	\$ 50
MES 6	\$ 547	\$ 48	\$ 23	\$ 31	\$ 15	\$ 67	\$ 124	\$ 172	\$ 67
MES 7	\$ 703	\$ 60	\$ 28	\$ 38	\$ 19	\$ 84	\$ 155	\$ 235	\$ 84
MES 8	\$ 879	\$ 76	\$ 36	\$ 48	\$ 24	\$ 105	\$ 196	\$ 287	\$ 106
MES 9	\$ 926	\$ 81	\$ 38	\$ 52	\$ 26	\$ 113	\$ 210	\$ 293	\$ 113
MES 10	\$ 720	\$ 64	\$ 30	\$ 40	\$ 20	\$ 88	\$ 164	\$ 226	\$ 88
MES 11	\$ 715	\$ 62	\$ 29	\$ 40	\$ 20	\$ 88	\$ 162	\$ 227	\$ 88
MES 12	\$ 589	\$ 51	\$ 24	\$ 33	\$ 16	\$ 71	\$ 132	\$ 190	\$ 72

## 6. CONCLUSIONES

### 6.1. EVALUACIÓN DE LA HERRAMIENTA

La herramienta desarrollada cumple con los objetivos planteados inicialmente generando los siguientes resultados:

- Asignación de producción a través de un método numérico y estandarizado.
- Disminución del tiempo invertido en la construcción del plan de producción por planta.

- Realiza una evaluación integral de los costos involucrados en cada proceso del flujo de abastecimiento de producto terminado.
- Evalúa los costos en cada ejercicio de planeación realizado, permitiendo identificar las operaciones que requieren mejorar, dando el costo total de las operaciones por mes de una forma muy cercana a la realidad operativa.
- Al analizar a detalle los costos de materiales involucrados en la producción, permite identificar los materiales que son diferentes de acuerdo a la infraestructura de cada planta y así, poder hacer una evaluación cualitativa de la complejidad del abastecimiento.
- Permite analizar de manera conjunta e integrada un gran número de variables, referencias, plantas productivas y almacenes.

A pesar de que HAPO fue creada para resolver el problema de la asignación de producción, durante su construcción se encontraron diversas aplicaciones que no habían sido consideradas inicialmente. A continuación enlisto algunas de ellas:

- Toma de decisiones gerenciales
- Renovación de contratos comerciales con maquiladores.
- Cálculo de precios objetivo de producción o subcontrato.
- Evaluación de inversiones en moldes e infraestructura de producción.
- Detección de oportunidades en las rutas de transporte.
- Herramienta auxiliar para la relocalización de pedidos de producto terminado.
- Extensión a otras operaciones: Planeación de la producción con otras maquilas, operación logística y de reabasto de producto terminado.
- Permite identificar oportunidades de ahorro.
- Evaluación de localización geográfica de almacenes y plantas productivas o maquilas.
- Definición de punto óptimo de despacho de pedidos de reabasto desde almacenes secundarios a almacenes regionales.
- Determinar inventario de producto terminado promedio por planta productiva, buscando optimizar la utilización de las plantas manejándolas como almacenes.

Para poder explotar al máximo la funcionalidad de la herramienta para optimizar costos en la operación real, se requieren garantizar los siguientes aspectos:

- Contar con un estimado de ventas por referencia por zona: Al contar con un estimado de ventas que considere los planes incrementales que las áreas comerciales tienen planeadas, en lugar de considerar las ventas históricas para el cálculo de los



requerimientos por almacén se podría garantizar tener el inventario de producto terminado en la zona en la que será vendido.

- Fortalecimiento de la red logística de transporte: Garantizar que en todo momento se cuente con transporte disponible para realizar las rutas de entrega planeadas en el esquema.
- Relocalización de pedidos: Diseñar un mecanismo que garantice que el pedido del cliente será surtido desde el almacén más cercano a su ubicación, sin importar que el pedido contenga referencias de la marca B únicamente o considere otros productos de la compañía Q.
- Negociar almacenamiento de producto terminado en las maquilas: Este punto facilita la operación de surtido de los pedidos que incluyen únicamente referencias de la marca B, ya que la entrega podría realizarse de forma directa sin pasar por el almacén de distribución.

## 6.2. CONCLUSIONES GENERALES

En el día a día nos enfrentamos a diversas situaciones en las que se requiere hacer un análisis a profundidad para poder dar una solución o respuesta que permita dar continuidad a las operaciones, o mejorar la forma de hacer las cosas obteniendo un ahorro económico, en tiempo o en esfuerzo.

La formación académica que he recibido como Ingeniero Industrial en la UNAM, me ha permitido desarrollar una estructura mental capaz de identificar los problemas, proponer soluciones y tomar decisiones desde un punto de vista objetivo y con el conocimiento teórico, conceptual y práctico en la industria.

En mi experiencia profesional he tenido la oportunidad de aplicar conocimientos adquiridos en las materias de: Planeación y control de la producción, Investigación de operaciones y análisis numérico, entre otras, logrando desempeñar el rol de planeador de abastecimiento de producto terminado y materiales, desarrollando herramientas de mejora enfocadas en planeación y control de la producción y generando ahorros.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- (1) <https://www.ingenieriaindustrialonline.com>
- (2) <https://ingenioempresa.com/capacidad-producción-empresa/>
- (3) HILLIER, Frederick S., LIEBERMAN, Gerald J., Introducción a la Investigación de Operaciones, Novena Edición, México: MC Graw Hill 2010
- (4) <https://support.office.com/es-es/article/Definir-y-resolver-un-problema-con-Solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>
- (5) <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/visual-basic>