



**Planeación agregada de la producción por
modelos de optimización y programación lineal
con la aplicación de la herramienta Solver
(Microsoft Excel)**

***Aggregate Production Planning for Optimization
Modeling and Linear Programming with Solver
(Microsoft Excel) Tool Application***

ANDRÉS EDUARDO MÉNDEZ JAIMES*
Fundación Universitaria San Mateo
Colombia

*direccion.industrial@sanmateo.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-3472-5451>

Artículo de investigación

Recepción: 28 de febrero de 2024

Aceptación: 22 de abril de 2024

<https://doi.org/10.52948/mare.v6i1.1220>

Reconocimiento-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND)

Cómo citar este artículo: A. Méndez Jaimes, «Planeación agregada de la producción por modelos de optimización y programación lineal con la aplicación de la herramienta Solver (Microsoft Excel)», mare, vol. 6, n.º 1, oct. 2025.

Resumen: El proceso de producción y optimización que utiliza la ingeniería industrial tiene una dirección a largo plazo que incluye una estrategia eficaz para prevenir riesgos; así como para minimizar recursos y costos asociados con los requisitos y ritmos de producción. Este documento presenta el uso de la programación lineal para resolver problemas relacionados con la planificación agregada de la producción y resolver los modelos mediante la Solver, complemento de Microsoft Excel.

Palabras clave: planificación agregada; Excel Solver; programación lineal; optimización; ritmos de producción; prevención de riesgos.

Abstract: The production and optimization processes that utilize industrial engineering have a long-term focus on implementing effective strategies to prevent risks, while minimizing resources and costs associated with production requirements and rates. This document presents the use of linear programming to solve problems related to Aggregate Planning and demonstrates how to resolve these models using the Excel Solver application.

Keywords: Aggregated planification; Excel Solver; lineal programming; optimization; production rates; risks prevention.

Introducción

La planeación agregada de la producción (PAP) es una herramienta clave dentro de la gestión de operaciones y la toma de decisiones estratégicas en las empresas productivas. Su objetivo es establecer el nivel de producción, inventarios y recursos a utilizar durante un período de tiempo determinado, con el fin de satisfacer la demanda de los productos de manera eficiente y al menor costo posible.

En este contexto, los modelos de optimización y programación lineal juegan un papel fundamental. Permiten modelar matemáticamente los diversos factores y restricciones que afectan la producción, como la capacidad de recursos, costos de operación, tiempos de producción y almacenamiento.

Estos modelos permiten encontrar la solución óptima para minimizar los costos o maximizar la eficiencia de la producción, siempre dentro de los límites establecidos por las restricciones del sistema.

Una de las herramientas más poderosas y accesibles para resolver estos problemas es Solver, una funcionalidad de Excel que permite solucionar problemas de optimización mediante programación lineal, de manera intuitiva y práctica.

En este documento se explorará cómo la PAP puede implementarse mediante modelos de optimización utilizando Solver de Excel, permitiendo a las organizaciones tomar

decisiones informadas que les ayuden a mejorar sus operaciones y alcanzar sus objetivos estratégicos.

Marco conceptual

La planeación agregada es un proceso clave dentro de la gestión de operaciones y la cadena de suministro, que permite a una organización equilibrar la oferta y la demanda de productos o servicios a lo largo de un horizonte temporal determinado. Su objetivo es optimizar los recursos de producción y minimizar los costos, manteniendo el nivel de servicio adecuado. [1]

Concepto de Planeación Agregada

La *planeación agregada* se refiere a la formulación de un plan de producción a mediano plazo (normalmente entre tres y 18 meses) que ajusta la capacidad de producción y las operaciones a las necesidades de la demanda esperada. Esta planificación se realiza a un nivel más alto que el de la planificación de la producción a corto plazo, pero más específico que la planificación estratégica a largo plazo. [2]

El objetivo principal de la planeación agregada es lograr un equilibrio entre la oferta (capacidad de producción, inventarios, personal) y la demanda del mercado (ventas proyectadas), minimizando costos y maximizando la eficiencia.

Elementos Clave de la Planeación Agregada

Primero, una demanda esperada o la estimación de la cantidad de productos o servicios que se espera vender en un periodo determinado.

Segundo, la capacidad disponible, es decir, la cantidad máxima de productos que la organización puede producir, considerando los recursos como maquinaria, mano de obra y materias primas.

Tercero, unas políticas de inventarios o las estrategias para gestionar inventarios, tales como niveles de stock mínimos y máximos. Cuarto, unos costos involucrados como los de producción, inventarios, contratación o despido de personal y otros operacionales.

Quinto, los planes de acción o las decisiones estratégicas que incluyen subcontratación, horarios de trabajo, ajustes en la capacidad, y otros factores para cumplir con la demanda proyectada.

Tipos de Estrategias en la Planeación Agregada

Por un lado, está la estrategia de producción constante, es decir, mantener un nivel continuo de producción, ajustando el inventario para satisfacer los picos de demanda.

A su vez, existe la estrategia de demanda variable que corresponde a ajustar la producción según la variación de la demanda, lo que puede implicar contratar o despedir personal, así como modificar turnos de trabajo.

Por último, la estrategia híbrida combina los dos enfoques anteriores, utilizando inventarios y fuerza laboral flexible para ajustar la producción cuando sea necesario.

Desarrollo del estudio

Como se ha determinado previamente el uso de herramientas Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), como Solver Excel, en proceso de generación de modelos de programación lineal en planes agregados, garantiza las decisiones estratégicas en tiempos de respuesta reducidos que respalda una rápida acción frente a los competidores, fijando variables de análisis y decisión acordes a las necesidades del mercado.

El siguiente procedimiento permite indicar las condiciones de modelamiento necesarias para la determinación de la planificación agregada con utilización de modelos de programación lineal. [3]

Establecer las Variables

- Pronóstico de la demanda agregada F_t , para cada periodo t en un horizonte de planeación que se extienda a lo largo de T periodos.
- Costos directos de producción: asociados al proceso de generación del bien analizado.
- Costos de mano de obra, tiempo regular (\$ / hora), y costos de tiempo extra (\$ / hora).

- Costo de subcontratar la producción (\$ / unidad o \$ / hora).
- Costo de cambiar la capacidad; específicamente, costo de contratar/despedir trabajadores (\$/trabajador) y el costo de agregar o reducir capacidad de máquina (\$ / máquina).
- Horas de mano de obra / máquinas requeridas por unidad.
- Costo de mantener inventario (\$ / unidad / periodo).
- Costo de desabasto o de órdenes pendientes (backlogs) (\$ / unidad / periodo).

Definir Restricciones del Modelo

- Límites en el tiempo extra.
- Límites en despidos.
- Límites en capital disponible.
- Límites en desabastos y pendientes.
- Restricciones de proveedores para la empresa.

Determinar la Función Objetivo del Modelo

La función objetivo es un concepto clave en la optimización matemática. Se trata de una expresión que describe lo que se desea maximizar o minimizar en un problema de optimización. En otras palabras, la función objetivo es la “meta” que se quiere alcanzar. [4]

En resumen, la función objetivo es la fórmula matemática que define el objetivo a alcanzar en un problema de optimización. Para el proceso de planeación agregada de la producción, la función objetivo es minimizar el costo total (equivalente a maximizar la utilidad total que debe satisfacer toda la demanda) en que se incurre durante el horizonte de planeación. [3]

En relación con el diseño de problemas de planificación agregada en Excel, se toman en cuenta los datos requeridos en la solicitud anterior; para ello se diseña a continuación un ejemplo para el desarrollo del proceso. Asimismo, es necesario la creación de las siguientes variables de acuerdo con la Tabla 1.

TABLA 1
ESTABLECIMIENTO DE NOMBRES DE VARIABLES DE DECISIÓN

Establecimiento de Variables	
Variable	Significado
Wt	Cantidad de mano de obra en tiempo regular.
Ht	Cantidad de Contrataciones.
Lt	Cantidad de Despidos.
Pt	Cantidad de unidades producidas.
It	Cantidad de Unidades en el periodo
St	Cantidad de Unidades en desabasto el periodo
Ot	Cantidad de horas en tiempo extra contratadas

La siguiente estructura de los modelos de programación lineal en planes agregados consiste en la determinación de las demandas por pronósticos no estacionales Modelo Holt [3] y la elaboración de las variables de decisión, las cuales se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2
ESTABLECIMIENTO DE TABLA DE VARIABLES DE DECISIÓN

Periodo	Variables de decisión								Demanda
	Wt	Ht	Lt	Pt	It	Ot	St	Ot	
0	100				1000				10000
1									25000
2									30000
3									40000
4									35000
5									25000
6									30000
7									45000
8									40000

En el proceso anterior se recomienda la codificación por colores para definir las variables de decisión, las cuales pueden verse en color amarillo y en verde aquellas determinadas por pronóstico Holt, que representa variables fijas del modelo.

En relación con las restricciones, estas deben estar definidas en el desarrollo de la labor de planificación; dependiente de los turnos, las condiciones productivas y los requerimientos de las empresas, según la cantidad de personas que se contratan o despiden; de acuerdo con la capacidad instalada del proceso, mano de obra subcontratada y costos generales de cada uno de los elementos del modelo, para el ejercicio las condiciones determinadas son las siguientes (Tabla 3).

TABLA 3
ESTABLECIMIENTO DE TABLA DE COSTOS Y VARIABLES INICIALES DE COSTOS DEL MODELO

Variables	Cant. Inicial	Costos (\$)
Fuerza de trabajo inicial	100	\$ 7.141
Costo de mano de obra en tiempo	N/A	\$ 8.926
Costo de contrataciones	N/A	\$ 400.000
Costo de despidos	N/A	\$ 600.000
Cantidad de Inventario	1000	\$ 2.000
Cantidad de desabasto	N/A	\$ 3.000
Costo de materias primas	N/A	\$ 2.500
Costo de Subcontratar	N/A	\$ 5.000

Los costos anteriormente mencionados permitirán el desarrollo de la función objetivo del modelo, usando la expresión Chopra y

Meindl [3]. Así, los costos deben ser validados y reemplazados por los valores propios de la tabla, de acuerdo con las variables definidas para el modelo.

$$\sum_{t=1}^6 640W_t + \sum_{t=1}^6 60O_t + \sum_{t=1}^6 300H_t + \sum_{t=1}^6 500L_t + \sum_{t=1}^6 2I_t + \sum_{t=1}^6 5S_t + \sum_{t=1}^6 10P_t + \sum_{t=1}^6 30C_t \quad (1)$$

La anterior ecuación corresponde a la fórmula de expresión de costos de modelamiento, según Chopra y Meindl [3]. A continuación, se visualiza la imagen del cálculo de la función objetivo del modelo y los costos asociados

TABLA 4
ESTABLECIMIENTO DE TABLA DE COSTOS Y FUNCIÓN OBJETIVO DE COSTOS TOTALES DE ESTRATEGIA ECONÓMICA DEL MODELO

Costos de Plan Agregado										
Periodo	Variables de decisión									
	Wt	Ot	Ht	Lt	It	St	Pt	Ct	St	Ot
0	\$ 60.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
7	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
8	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Función Objetivo =										
	\$									204.000

El siguiente paso para efectuar el modelamiento es establecer las restricciones que se determinan de acuerdo con el literal B del modelo analizado y que se deben generar en Excel de la siguiente forma. Lo anterior, teniendo en cuenta una capacidad productiva de 40 unidades / hora y que las horas extras se encuentran limitadas a 12 horas por semana. Las anteriores expresiones deben ajustarse a las condiciones del modelo y se ven visualizadas en la Tabla 4. De manera adicional debe adaptarse el modelo

a ocho periodos de acuerdo con el desarrollo planificado. [3]

$$W_t = W_{t-1} + H_t - L_t \quad o \quad t = 1, \dots, 6$$

$$P_t \leq 40W_t + \frac{O_t}{4} \quad o \quad t = 1, \dots, 6 \quad (2)$$

$$I_{t-1} + P_t + C_t = D_t + S_{t-1} + I_t - S_t \quad o \quad t = 1, \dots, 6$$

$$O_t \leq 10W_t \quad o \quad t = 1, \dots, 6$$

La ecuación (2) corresponde al establecimiento de restricciones y modelamiento de tabla en Excel del modelo Chopra y Meindl [3]. Antes de proceder a la generación de la tabla se debe tener en cuenta que cada una de las restricciones se forma utilizando y haciendo operaciones básicas de suma y resta entre las variables del proceso lo que permite la generación de modelamiento para su solución en Solver.

TABLA 5
ESTABLECIMIENTO DE TABLA DE RESTRICCIONES DEL MODELO

Fuerza de trabajo	Capacidad	Inventario	Tiempo extra
-100	0	-9000	0
0	0	-25000	0
0	0	-35000	0
0	0	-45000	0
0	0	-35000	0
0	0	-25000	0
0	0	-35000	0
0	0	-45000	0

Resultados y discusión

A continuación, se muestran las variables de modelamiento Solver, complemento de Microsoft Excel. Permite encontrar soluciones óptimo (máximos y mínimos) para problemas de análisis y optimización mediante la formulación de una celda objetivo. El diseño Solver del sistema se muestra en la siguiente imagen, generada por el programa Excel (Tabla 6). [5]

TABLA 6
PARAMETRIZACIÓN DEL MODELO EXCEL DEL
MODELO DE PLAN AGREGADO

Los datos generados por el modelo determinan lo expuesto en la Tabla 7.

TABLA 7
COSTOS DE MES AGREGADO

Costos de Plan Agregado										
Periodo	Variables de decisión									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
0	\$ 640.000	\$ 400.000	\$ 80.000	\$ 7.381	\$ 2.000	\$ 5.000	\$ 3.000	\$ 8.320		
1	\$ 8.000	\$ 40.000.000	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500
2	\$ 8.000	\$ 40.000.000	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500
3	\$ 8.000	\$ 40.000.000	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500
4	\$ 8.000	\$ 40.000.000	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500
5	\$ 8.000	\$ 40.000.000	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500
6	\$ 8.000	\$ 40.000.000	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500
7	\$ 8.000	\$ 40.000.000	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500
8	\$ 8.000	\$ 40.000.000	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 1.500
Función Objetivo = \$ 1.222.064.000										

Los costos generales de la propuesta de valor después de la simulación determinan que el modelo más económico para la generación de una planificación estable se relaciona con la subcontratación del personal. Esto reduce los costos de mano de obra y permite a la empresa generar ocupación de la mano de obra en procesos relacionados, reduciendo los costos asociados a contrataciones y despidos; a su vez, evitando el desabasto y generando un proceso de producción que produce unos costos totales operativos de \$ 1.222.064.000, que es la estrategia de mayor viabilidad para el proceso.

Se observa a su vez que los costos por desabastecimiento son reducidos hasta el octavo periodo y permiten la generación de

nuevas estrategias operativas para a nivelación de la capacidad productiva.

Conclusiones

En principio, el balance entre demanda y capacidad de producción: los modelos de planes agregados permiten a las empresas equilibrar la demanda de productos y la capacidad de producción a lo largo del tiempo. Esto se logra mediante la planificación de la producción, el inventario y la fuerza laboral, ajustando los niveles de producción para satisfacer las fluctuaciones en la demanda sin incurrir en costos excesivos. Estos modelos son fundamentales para optimizar los recursos disponibles y evitar tanto el exceso de inventario como la falta de productos.

Segundo, sobre la flexibilidad en la toma de decisiones operativas, los modelos de planes agregados ofrecen una maleabilidad en cuanto a las decisiones operativas, como el ajuste de la producción, la contratación de personal adicional o el cambio en los niveles de inventario. Según las condiciones del mercado la empresa puede optar por un enfoque de producción *pushed* (empujada) o *pulled* (tirada), adaptándose a cambios inesperados en la demanda o en los costos de recursos.

Tercero, una de las principales ventajas de los modelos de planes agregados es que permiten a las empresas optimizar los costos operativos. Al planificar de manera efectiva los niveles de producción y los recursos necesarios, se pueden

minimizar costos asociados con almacenaje, desperdicio de recursos y tiempo de inactividad de la maquinaria o la fuerza laboral. Además, ayudan a evitar el sobre trabajo o el subempleo, asegurando una mayor eficiencia en la utilización de los recursos disponibles.

Referencias

- [1] J. Heizer et al., *Principles of Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*, 11th ed. Washington: Pearson, 2020.
- [2] H. Taha, *Operations Research: An Introduction* (10th ed.). Washington: Pearson, 2016.
- [3] Chopra, S. & Meindl, P. (2019). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, 7th ed. Washington: Pearson, 2014.
- [4] H. P. Williams, *Modeling Building in Mathematical Programming*, 5th ed., West Sussex, England: Wiley, 2013.
- [5] R. Anderson, “Social Impacts of Computing: Codes of Professional Ethics”. *Social Science Computing Review*, Vol. 10, no. 2, pp.453-469, 1992.