

PLANEACIÓN AGREGADA DE LA PRODUCCIÓN: ANÁLISIS DE LITERATURA Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

AGGREGATE PRODUCTION PLANNING: LITERATURE ANALYSIS AND STATE OF THE

ISSUE

Victor Manuel Medina López, René Muciño Castañeda

Departamento de posgrado, Facultad de ingeniería UAEMex
Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria
Toluca, Estado de México, 50100, Mexico
vicc1203@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6429-5862>

RESUMEN

En el presente trabajo se revisa el estado de la cuestión de la planeación agregada de la producción, que se trata básicamente de establecer las tasas de producción y fuerza de trabajo necesarios por grupos de productos u otras categorías amplias de los mismos para satisfacer la demanda del cliente al menor costo, con el objetivo de analizar los cambios que se han dado a lo largo del tiempo en la forma de abordar este problema con base en las investigaciones publicadas acerca del tema, ya que se considera que este proceso de planeación es importante dentro de los procesos de producción al vincular los planes y objetivos estratégicos de las empresas con las actividades necesarias para cumplirlos, se analizan los trabajos de los diferentes investigadores que han publicado acerca del tema desde el tipo de aproximación que hacen, además de las variables y parámetros que consideran, ya que estos determinan la estrategia de planeación a la que se apega el modelo o método de solución propuesto para el problema de la planeación agregada de la producción aunque se mantiene la conciencia de que la frecuencia de un método, modelo o estrategia en la literatura no implica su importancia en el entorno productivo real. Este trabajo está enfocado principalmente en el estado de la cuestión de la planeación agregada de la producción en la última década, aunque como se mencionara con mayor detalle más adelante, es un tema que aparece en las revistas de divulgación científica alrededor de la década de los 50's.

Palabras clave: Planeación agregada; literatura; métodos; variables.

ABSTRACT

This paper reviews the state of the question of aggregate production planning, which basically deals with establishing the production rates and labor force required by product groups or other broad categories of products to satisfy customer demand at the lowest cost, in order to analyze the changes that have occurred over time in the way of addressing this problem based on published research on the subject, since it is considered that this

planning process is important within the production processes by linking the strategic plans and objectives of the companies with the activities necessary to fulfill them, the work of the different researchers who have published on the subject is analyzed from the type of approach they make, in addition to the variables and parameters that they consider, since these determine the planning strategy to which the model or method of Proposed solution to the problem of aggregate production planning, although the awareness that the frequency of a method, model or strategy in the literature does not imply its importance in the real productive environment remains. This work is mainly focused on the state of the question of aggregate production planning in the last decade, although as it was mentioned in more detail later, it is a topic that appears in scientific magazines around the decade of the 50's.

Keywords: Aggregate planning; literature; methods; variables.

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo es preparar el estado de la cuestión de la planeación agregada ya que este es un paso fundamental previo a la generación de nuevo conocimiento, por lo que se realiza la consulta de las publicaciones en revistas científicas de los años de 2010 a 2019 a fin de identificar tendencias avances y pendientes del tema. En principio de cuentas se aborda la problemática de la planeación agregada, se realiza un breve esbozo histórico analizando los principales puntos del tema, desde la ubicación de la planeación agregada dentro del área de estudio de la cadena de suministro a fin de determinar su importancia y aplicabilidad en diferentes situaciones.

Mediante la búsqueda de publicaciones en revistas de divulgación científica en motores de búsqueda como Google académico y otros, se procede a identificar los métodos que se han utilizado para

abordar el problema de la planeación agregada, se considera importante identificar la forma en que se recopila la información, juega un papel central de este análisis la determinación de variables, los tipos de datos y su integración en los modelos aplicados.

Es pertinente aclarar que este trabajo no es concluyente y presenta solo algunas de las tendencias que se han detectado durante la recopilación de la información publicada referente al tema de la planeación agregada de la producción.

ANTECEDENTES

La planeación agregada de la producción que está enfocada en, establecer las tasas de producción, niveles de inventario y fuerza de trabajo necesarios por grupos de productos u otras categorías amplias de los mismos para satisfacer la demanda del cliente al menor costo, cuando dicha demanda está sujeta a condiciones de variabilidad por estacionalidad.

La planeación agregada ocurre en el nivel táctico y tiene efectos en el mediano plazo, múltiples autores sitúan este plazo entre los 3 y 18 meses, un periodo muy largo para la toma de decisiones de administración de la producción por unidad de control de inventario (*Stock keeping unit, SKU*) y muy corto para la toma de decisiones de la capacidad de instalaciones y maquinaria.

El proceso de planeación inicia en el lado de ventas, el plan de ventas generalmente se establece en unidades de grupos de productos agregados y, es conveniente que tome en consideración, programas de incentivos de ventas, promociones y otras actividades de mercadeo. El lado de operaciones desarrolla un plan de producción como una salida del proceso. Al centrarse en los volúmenes agregados de productos y ventas, las funciones de mercadeo y operaciones pueden desarrollar planes para la forma en que se satisfará la demanda, tarea particularmente difícil cuando hay que atender a cambios significativos en la misma a lo largo del tiempo como resultado de las tendencias del mercado u otros factores.

La agregación que básicamente consiste en agrupación con base en ciertos atributos, por el lado de la oferta se realiza por familias de productos, y por el lado de la demanda, por grupos de clientes. Los programas de producción de productos individuales y los pedidos de los clientes se pueden manejar más fácilmente como resultado del proceso de planificación de ventas y operaciones.

Normalmente, la planificación de ventas y operaciones se realiza en un ciclo mensual, esta vincula los planes estratégicos y el plan de negocios,

planes a largo plazo, de una empresa con sus operaciones detalladas, planes a corto plazo, y procesos de suministro. Estos procesos detallados incluyen actividades de fabricación, logística y servicios.

Chopra define la planeación agregada como el proceso mediante el que una compañía puede determinar los niveles más adecuados de capacidad de producción, subcontratación, inventario, faltantes e incluso precios, durante un horizonte de tiempo específico (Chopra y Meindl, 2013).

La tasa de producción es el número de unidades completadas por unidad de tiempo (por ejemplo, por hora o por día). El nivel de la fuerza laboral es el número de trabajadores necesarios para la producción (producción = tasa de producción × nivel de la fuerza laboral). El inventario disponible es el inventario de producto terminado o semiterminado (*Work In Process, WIP*) no utilizado que se ha transferido del período anterior.

La figura 1 contiene los factores más importantes a considerar en el proceso de planeación agregada, la mayor parte de estos son factores externos que se encuentran fuera del control de la empresa.

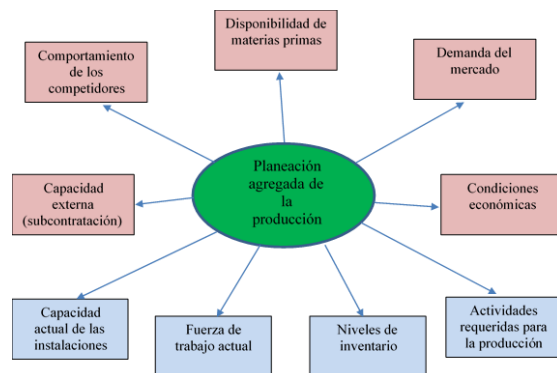


Figura 1 Factores que interfieren en la planeación agregada de la producción. (Jacobs. y Chase, 2018).

Dado que el objetivo es la satisfacción del cliente al menor costo son parámetros requeridos para la planeación agregada los costos resultantes de los cambios en los niveles de producción de un periodo a otro, el principal costo relacionado con estos cambios es el de la variación del tamaño de la fuerza de trabajo, es importante que el impacto en la modificación del tamaño de la fuerza de trabajo puede ser negativo en la moral de los trabajadores y en la reputación de la empresa por lo que podría no ser viable al limitar a la larga la disponibilidad de mano de obra (Nahmias y Lennon, 2015), aun cuando la literatura menciona estrategias basadas

justamente en la variación de la fuerza de trabajo.

Los dos extremos en la planificación de la capacidad son el plan de inventario cero, también conocido como estrategia de persecución (*chase*), y el plan de fuerza laboral constante, también conocido como estrategia de nivel (*level*). Bajo el plan de inventario cero, la fuerza de trabajo se modifica cada mes para producir suficientes unidades para ajustarse al patrón de demanda. La capacidad se ajusta hacia arriba y hacia abajo (es decir, los trabajadores son contratados y despedidos) para lograr esta correspondencia. Según el plan de fuerza laboral constante, la capacidad se mantiene constante durante el período de planificación (es decir, no se contratan ni despiden trabajadores) y, en cambio, se mantiene el inventario entre períodos; la capacidad se establece al mínimo posible para garantizar que no haya escasez en ningún período.

La recopilación de artículos científicos publicados entre los años 2010 y 2019 se realizó en los motores de búsqueda usando “aggregate production planning” como palabras clave, encontrando publicaciones de revistas como *Computers & Industrial Engineering* e *International Journal of Production Research* entre otros, en la siguiente sección se presenta una breve muestra de lo encontrado en algunos de los artículos que abordan este tema.

EXPOSICIÓN

El problema de la planeación agregada de la producción aparece en revistas de divulgación científica a partir de la década de los 50's con trabajos como el de (Holt et al., 1955) que propone una regla de decisión para determinar la tasa de producción a un nivel agregado, así como el tamaño de la fuerza de trabajo necesaria para satisfacer la demanda del cliente y las fluctuaciones de dicha demanda al menor costo evaluando los costos de mantener inventario contra los costos de contratación y despidos necesarios para variar la fuerza de trabajo de acuerdo a lo requerido por la demanda en los periodos del horizonte de planeación, con el mismo objetivo las publicaciones de Hoffman y Jacobs (Hoffman y Jacobs, 1954), así como Dantzig y Johnson (1955) presentan modelos que aplicaban programación lineal, específicamente modelos de transporte, para determinar la planeación de la producción que permitiera atender demandas conocidas, es justamente el supuesto de la demanda conocida la mayor debilidad de este tipo de modelos ya que no atienden a las variaciones inherentes a este

factor en la realidad, de hecho Hoffman y Jacobs reconocen explícitamente que su modelo era un tanto ingenuo y poco aplicable a algunas industrias, pero que puede ser útil en otros casos.

Existen algunos autores que han criticado y cuestionado la utilidad de la planeación agregada como es el caso de Buxey (1990), que menciona el hecho de que para algunos tipos de industria existen factores operacionales o de costo que determinan de antemano la postura táctica de la empresa, por ejemplo tecnología demasiado costosa obliga a mantener una producción continua para mantener los costos fijos los más bajos que se pueda y al no haber flexibilidad de la producción la planeación de la producción toma formas específicas y es el rol del área de ventas y mercadeo el que se vuelve más proactivo dentro de la planeación de ventas y operaciones.

La incertidumbre suele ser un factor inherente a múltiples procesos dentro de las cadenas de suministro, específicamente en la planeación agregada se tienen publicaciones de investigaciones enfocadas en la respuesta a estas condiciones de incertidumbre que pueden poner en riesgo el desempeño de toda la cadena de suministro. En 2010 trabajos como los de (Kazemi et al., 2010) que presenta un modelo de programación estocástica el de (Sakally et al, 2010), que emplea un modelo, catalogado por ellos como probabilístico, que considera distribución triangular de los requerimientos de materia prima, abordan el problema de la planeación agregada y tomando en cuenta la incertidumbre introducida a este proceso por las variaciones en la demanda y en los requerimientos de materias primas, considerando a la fuerza de trabajo constante dentro del horizonte de planeación.

Uno de los métodos empleados en algunas de las aproximaciones al problema de la planeación agregada a fin de enfrentar los problemas de la incertidumbre en sus componentes y la existencia de múltiples objetivos, que en ocasiones pueden estar en conflicto entre ellos, es el uso de la lógica difusa, la investigación de (Baykasoglu y Gocket, 2010) presenta un modelo multiobjetivo de programación difusa enfocado en maximizar la satisfacción de la demanda al tiempo que minimiza los costos de producción, en el que considera a los costos relativos a la fuerza de trabajo como la variable susceptible de cambios, mediante la determinación de la cantidad de horas de trabajo regular y extra así como la contratación y despidos necesarios, esta es una perspectiva similar a la mostrada en el modelo de

(Liang et al., 2011) solo que este último cuenta con la inclusión de pendientes (*backorders*) además de subcontratación. El modelo presentado por (Sadeghi et al., 2013) aplica programación difusa con la aplicación números grises (números cuyo valor exacto se desconoce, pero se conoce el rango en el que se encuentra (Deng, 1982), con los objetivos de minimizar costos totales de producción, así como los asociados a los *backorders*, variaciones en el tamaño de la fuerza de trabajo.

En los últimos años se ha desarrollado una tendencia en la investigación que desde múltiples ángulos abordan aspectos ambientales en busca de medidas para mitigar los efectos de problemas como el calentamiento global y la contaminación, problemas que además incrementan los costos de producción, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero producidas durante la generación de energía, en el caso de la planeación agregada existen publicaciones como la de Mitra et al. (2012) que presenta un modelo que considera detalles de los procesos de producción que representan costos de energía y los incluye en una función objetivo de minimizar los consumos de energía eléctrica y por lo tanto los costos de la misma. (Modarres y Izadpanahi ,2016) por su parte presentan un modelo de programación lineal con tres objetivos que son, minimizar costos de producción, minimizar costos de energía y minimizar la huella de carbono, en el trabajo de (Chaturvedi ,2017) se propone un método grafico para determinar el mejor plan de producción para satisfacer una demanda dada considerando múltiples instalaciones de producción disponibles, con el objetivo de minimizar el consumo energético y por lo tanto el costo de producción, es importante mencionar que en estas publicaciones no se consideran variaciones en la fuerza de trabajo.

El concepto de administración verde de la cadena de suministro se ha desarrollado en los últimos años (Markovits-Somogyi et al., 2009) para referirse a las que aplican principios ecologistas como el uso de materias primas ambientalmente amigables, uso de reciclados, reducción de consumo de combustibles fósiles, etc. Mirzapour Al-e-Hashem et al. (2013) así como Entezaminia et al. (2017) presentan modelos de planeación agregada de la producción para empresas verdes, el primero mediante programación estocástica, considerando múltiples productos y múltiples instalaciones de producción, el modelo tiene como objetivo la reducción de costos de producción, transporte, inventario y abastecimiento, considerando que los efectos negativos en el ambiente, ocasionados por estos procesos, son directamente proporcionales a estos costos, además se busca minimizar costos de escasez, al tiempo que

maximiza las ganancias de la cadena. El segundo es un modelo de optimización robusta con consideraciones de recolección y reciclaje de productos que al igual que el primero mencionado tiene en cuenta las emisiones de gases de efecto invernadero que se incluyen asociadas a los costos de los procesos de la cadena de suministro incluyendo los de la logística inversa dentro de una función objetivo de tipo minimizar que incluye un componente de beneficios de las ventas con un signo negativo ya que este componente se quiere maximizar.

Existe en la literatura encontrada una tendencia a la búsqueda de modelos que representen la realidad de los procesos de producción de manera más precisa mediante la inclusión de factores cuyo efecto pasa desapercibido o se considera despreciable en publicaciones anteriores, ejemplo de esto es el artículo de Chen y Sarker (2015) que presenta un modelo para evaluar los costos de variación del tamaño de la fuerza de trabajo frente a los de mantener inventario para satisfacer una demanda difusa, este modelo incluye las curvas de aprendizaje de la fuerza de trabajo y su impacto en la productividad de la empresa. El modelo de Erfanian y Pirayesh (2016) evalúa también los costos de la variación de fuerza de trabajo y de mantener inventario, teniendo en consideración los tiempos de mantenimiento y su impacto en la capacidad de la planta ya que en la realidad los equipos y maquinaria no están disponibles para trabajar todo el tiempo.

La investigación de Rasmi et al. (2019) muestra además de la tendencia ambiental un interés por cuestiones sociales y culturales que se integran en un modelo multi-objetivo de programación lineal entera mixta en el que se analizan además los impactos generales de la implementación de proyectos ambientales o culturales en la utilidad general de la empresa y evaluando las soluciones con mejor desempeño en cada objetivo, mostrando que pequeñas disminuciones en las ganancias monetarias pueden generar grandes mejoras en otros aspectos, que han ganado importancia en los últimos años como los sociales y ambientales.

La tabla 1 muestra lo encontrado en la etapa de revisión del estado del arte, se indica si la propuesta mediante la que abordan este problema fue aplicada o tiene su fuente de inspiración en un caso real, las siguientes nueve columnas señalan si se toma en cuenta o no cada una de las siguientes variables:

- V1 Producción por periodo
- V2 Inventario
- V3 Faltantes

- V4 Contratación y despido
- V5 Subcontratación
- V6 Tiempo extra y regular
- V7 Adquisiciones
- V8 Distribución
- V9 Otros

Todas estas variables están relacionadas con las cuestiones de cuánto, cuándo y cómo producir para satisfacer la demanda de los clientes al menor costo o generando las mayores ganancias.

Tabla 1 Variables consideradas en las publicaciones.

Ejemplo		Variables								
Si	No	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	V 6	V 7	V 8	V 9
X		X	X	X				X		
X		X	X	X	X	X	X			X
	X	X	X	X	X		X			
X		X	X					X		
X		X	X	X				X	X	
	X	X	X			X	X			
X		X	X	X	X	X	X			X
	X	X	X	X	X		X			
	X		X							X
X		X	X	X	X		X	X	X	X
	X		X					X	X	
X		X	X		X					
X		X	X	X	X	X	X			
X		X	X	X	X	X	X			
	X	X	X	X			X	X		X
X		X	X		X		X			X
X		X	X	X	X	X	X			
	X	X	X	X	X				X	X
	X	X	X		X		X		X	X
	X	X	X	X	X	X	X			X
	X	X	X							X
	X		X	X	X	X	X			
	X	X	X							X
X	X	X	X	X				X		X
	X	X	X					X	X	
	X	X	X		X			X	X	
	X	X	X		X					

Fuente: Elaboración propia.

De la literatura revisada hasta el momento se puede ver que el enfoque de la mayoría de propuestas para este problema es la reducción de costos, la decisión de cuanto producir y en qué momento hacerlo es crítica en la planeación agregada de la producción, esta obliga al tomador de decisión a determinar también cuanto inventario mantener en cada uno de los periodos del horizonte de planeación, la tabla muestra además que este problema puede incluir

otras variables que intervienen en los costos y ganancias de la empresa, estas variables dependen del tipo de empresa al que está enfocado el modelo o de la tendencia a integrar procesos de manufactura con los de adquisiciones y distribución como los llamados sistemas avanzados de planeación (Pochet y Wolsey L., 2006).

CONCLUSIONES

El presente trabajo se encuentra en la etapa de revisión y análisis de la información recopilada, se pretende diferenciar las publicaciones por año, por la estrategia a la que se apegan más, si presentan un método o modelo para la solución del problema de la planeación agregada, el tipo de objetivo que persiguen, las variables que consideran y si presentan o no casos de aplicación a fin de visualizar la aportación de cada autor y con ello identificar la frontera de conocimiento de esta área y determinar posibles formas de empujar dicha frontera.

REFERENCIAS

Baykasoglu A. y Gocken T. (2010). "Multi-objective aggregate production planning with fuzzy parameters," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 41, no. 9, pp. 1124–1131.

BUXEY G. "The myth of aggregate planning," *Prod. Plan. Control*, vol. 1, no. 4, pp. 222–234, 1990.

Chaturvedi N. D. (2017). "Minimizing energy consumption via multiple installations aggregate production planning," *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 19, no. 7, p. 1977–1984.

Chen Z. y Sarker B. R. (2015). "Aggregate production planning with learning effect and uncertain demand: A case based study," *J. Model. Manag.*, vol. 10, no. 3, p. 296–324.

Chopra S. y Meindl P. (2013). *Administración de la cadena de suministro*, Quinta ed. México: Pearson.

Dantzig G. B. y Johnson S. (1982). "A production smoothing problem," *RM-1432 RAND Corp.*, 1955.

Deng J. -L. "Control problems of grey systems.," *Sys. Contr. Lett.*, vol. 1, no. 5, p. 288–294.

J.-L. Deng, (1982). "Control problems of grey systems.," *Sys. Contr. Lett.*, vol. 1, no. 5, p. 288–294.

Entezaminia A., Heidari M. y Rahmani, D. (2017). "Robust aggregate production planning in a green supply chain under uncertainty considering reverse logistics: a case study," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 90, no. 5–8, p. 1507–1528.

Erfanian M. y Pirayesh M. (2016). "Integration aggregate production planning and maintenance using mixed integer linear programming," in *2016 IEEE International*

- Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, p. 927–930.
- Hoffman A. J. y Jacobs W. (1954). “Smooth patterns of production,” *Manage. Sci.*, vol. 1, no. 1, p. 86–91.
- Holt C. C. Modigliani F. y Simon H. A. (1955). “A linear decision rule for production and employment scheduling,” *Manage. Sci.*, vol. 2, no. 1, p. 1–30.
- Jacobs F. R. y Chase R. B. (2018). *Operations and supply chain management*, 15th ed. New York, NY: McGraw-Hill Education.
- Kazemi Zanjani M., Nourelfath M. y Ait-Kadi D. (2010). “A multi-stage stochastic programming approach for production planning with uncertainty in the quality of raw materials and demand,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 48, no. 16, p. 4701–4723.
- Liang T.-F. y Cheng H.-W. (2011). “Multi-objective aggregate production planning decisions using two-phase fuzzy goal programming method,” *J. Ind. Manag. Optim.*, vol. 7, no. 2, p. 365.
- Markovits-Somogyi R., Nagy Z. y Török A. (2009). “Greening supply chain management,” *Acta Tech. Jaurinensis*, vol. 2, no. 3, p. 367–374.
- Mirzapour Al-e-Hashem S. M. J., Baboli A. y Sazvar Z. (2013). “A stochastic aggregate production planning model in a green supply chain: Considering flexible lead times, nonlinear purchase and shortage cost functions,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 230, no. 1, p. 26–41.
- Mitra S., Grossmann I. E., Pinto J. M. y Arora N. (2012). “Optimal production planning under time-sensitive electricity prices for continuous power-intensive processes,” *Comput. Chem. Eng.*, vol. 38, p. 171–184.
- Modarres M. y Izadpanahi E. (2016). “Aggregate production planning by focusing on energy saving: A robust optimization approach,” *J. Clean. Prod.*, vol. 133, p. 1074–1085.
- Nahmias S. y Lennon Olsen T. (2015). *Production and operations analysis*, Septima ed. Long Grove, Illinois: Waveland Press Inc..
- Pochet Y. y Wolsey, L. A. (2006). *Production planning by mixed integer programming*. Springer Science & Business Media.
- Rasmi S. A. B., Kazan C. y Türkay M. (2019). “A multi-criteria decision analysis to include environmental, social, and cultural issues in the sustainable aggregate production plans,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 132, p. 348–360.
- Sadeghi M., Hajiagha S. H. R. y Hashemi S. S. (2013). “A fuzzy grey goal programming approach for aggregate production planning,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 64, no. 9–12, p. 1715–1727.
- Sakallı, U. S., Baykoç O. F. y Birgören B. (2010). “A possibilistic aggregate production planning model for brass casting industry,” *Prod. Plan. Control*, vol. 21, no. 3, p. 319–338.