

Metodologías para la planificación de la producción en las industrias: una revisión

Methodologies for planning of production in industry: a review

Julián Silva Rodríguez, Sandra lazo Jiménez, Daniela Palencia Molina, Mayra D'Armas Regnault

Palabras clave: planeación de la producción, plan óptimo de producción, programación de la producción

Key words: production planning, optimal production plan, production scheduling

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo presentar una revisión bibliográfica de la planificación de la producción hasta 2015 y su aplicación en las industrias, y que sirva de referencia para futuras investigaciones. Para la revisión se utilizó el método de "Análisis de contenido" y se derivó bajo cuatro categorías estipuladas según la metodología de la siguiente manera: Planeación de la producción agregada (APP), modelo de programación lineal (PL), plan maestro de producción (MPS) y programación de producción por inventarios. En la revisión se evidencia que el 60% de la bibliografía consultada corresponde a PL, es utilizada para la solución de problemas relacionados con varios contextos productivos y ha permitido a empresas u organizaciones reducir costos y aumentar su rentabilidad. Además, el 22% de las investigaciones corresponde a APP, que se utiliza para la determinación de la producción en la industria con el objetivo de satisfacer los requerimientos para un horizonte de planificación de medio plazo. De igual manera, el MPS con un 12%, se relaciona bajo la incertidumbre de la demanda con el propósito de determinar las cantidades y fechas en que deben estar dispuestos los inventarios de distribución de la empresa. Finalmente, 6% correspondiente a la programación de producción por inventarios debido a su poca aplicabilidad en la industria.

ABSTRACT

This article aims to present a literature review of the production planning until 2015 and its application in industry, and serve as a reference for future research. The method of "content analysis" used and was carried out under four categories set according to the methodology for the review follows: Aggregate Production Planning (APP) model of linear programming (LP) master plan production (MPS) and production schedule for inventories. In the review it is evident that 60% of the literature corresponds to PL, used to solve problems related to various productive contexts and has allowed companies or organizations reduce costs and increase profitability. In addition, 22% of research corresponds to APP, which is used for the determination of production in the industry in order to meet the requirements for a planning horizon of the medium term. Similarly, the MPS with 12% is related in the uncertainty of demand for determining the amounts and dates must be willing inventory Distribution Company. Finally, 6% corresponding production-scheduling inventory due to their low industrial applicability.

INTRODUCCIÓN

La planificación de la producción en las empresas manufactureras es fundamental para utilizar plenamente los recursos de fábrica (por ejemplo, máquinas, materias primas y trabajadores) y reducir los costos (Sun et al., 2020); siendo un aspecto clave la correcta planificación de la producción es la clave para las empresas manufactureras (Taha, 2008). Según Herrera y Martínez (2011), las actividades vinculadas a fábrica y la cadena de suministro deben planearse a fin de alcanzar la secuencia de fabricación más rápida, segura y óptima. De igual forma, Viveros y Salazar (2010) exponen que la planificación de la producción es un enfoque clásico, el cual se plantea de manera jerárquica en cuanto a sus decisiones y plazos involucrados, en el que se logra una integración vertical entre los objetivos estratégicos, tácticos y operativos, los que idealmente también deben expresar la relación horizontal entre las diferentes áreas de la compañía.

Igualmente, Cuatrecasas (2011) afirma que la planificación de la producción es parte de un proceso complejo el cual involucra la planificación en varios periodos. El proceso comienza con el estudio del largo plazo del mercado que permite tomar decisiones estratégicas como la construcción de nuevas plantas. El proceso de planificación de largo plazo se materializa en planes anuales, conocidos como planificación agregada, una estimación de las capacidades de producción y las demandas esperadas mes a mes. Los planes agregados se convierten, finalmente, en programas

detallados de producción, conocidos como Programas Maestros de Producción, es la función de la dirección de la empresa que sistematiza por anticipado los factores de mano de obra, materias primas, maquinaria y equipo.

Según Zóbelo et al (2017), la planificación de la producción es un proceso continuo y complejo que consiste en determinar anticipadamente decisiones que permitan optimizar el uso de los recursos productivos. De manera jerárquica, la planificación de producción abarca desde las instalaciones de producción, incluyendo estrategias de localización de plantas y sus capacidades, métodos de pronósticos, hasta llegar al nivel de planta donde los temas incluyen planificación táctica y operativa, planificación de materiales y gestión de inventarios.

Para Sun et al (2020), la planificación de la producción en la industria manufacturera consiste en asignar los recursos limitados, como materias primas, componentes de productos, máquinas y trabajadores, a diferentes tareas de producción. Por lo tanto, un buen plan de producción no sólo debe hacer pleno uso de los limitados recursos para aumentar los ingresos, sino también tener en cuenta la incertidumbre del mercado y la planta, de modo que tenga la flexibilidad de ajustarse fácilmente de acuerdo con los cambios en el mercado y los problemas imprevistos en la planta.

Considerando lo anterior, autores como Das y Patnaik (2015), Dumetz, Gaudreault, Thomas, Marier, Lehoux y el-Haouzi

(2015), y Bakhrankova, Midthun y Uggen (2014), han propuesto diversos modelos de optimización para resolver el problema de planificación de la producción. Desde una perspectiva clásica Silver, Pyke y Peterson (1998) describen y clasifican algunos de estos enfoques para resolver este problema, con la participación del uso de técnicas de programación matemática, procedimientos heurísticos y técnicas de búsqueda. En este mismo contexto, Khoshalhan y Khani (2012) hacen una exhaustiva revisión de los modelos y métodos de planificación en su conjunto, presentando un esquema de clasificación de las técnicas de planificación de la producción en dos grandes grupos: las técnicas que alcanzan soluciones óptimas y las que no las garantizan. De igual forma, Miller y Wolsey (2003) constituyen una referencia general, donde ilustran una amplia variedad de problemas de planificación de producción tanto en su modelamiento a través de programación lineal entera mixta como algorítmico para su solución.

En consecuencia, la programación matemática y en particular la programación lineal (PL) y sus extensiones, han adquirido en los últimos años una gran importancia dentro del mundo empresarial, dada la gran variedad de problemas que pueden ser modelizados entre los que se destaca la planificación de la producción. Esto, unido al desarrollo tecnológico experimentado por los

ordenadores cada vez más potentes y de menor precio, ha hecho que la PL sea más utilizada, puesto que ya es posible resolver, hasta con un ordenador personal, muchos de los problemas que hasta hace unos años requerían el uso de grandes ordenadores (Munier, 1986).

Dadas estas consideraciones, el presente artículo tiene con objetivo dar una visión sobre las diferentes herramientas metodológicas utilizadas para el desarrollo de investigaciones enfocadas a la planificación de la producción, el cual fue dividido en las siguientes categorías: Planeación Agregada de la producción (APP, por sus siglas en inglés, *aggregate production planning*), modelos de programación lineal (PL), plan maestro de producción (MPS, por sus siglas en inglés, *master production schedule*) y programación de producción por inventarios.

En este sentido, el presente artículo se estructura de la siguiente manera: en la Sección dos (2) se explica la metodología que se siguió para la revisión y se identifica la ubicación temporal de cada artículo y además se muestra una comparación de los artículos que se han publicado sobre las temáticas bajo estudio. Luego, en la Sección tres (3) se muestran de manera sintetizada los principales resultados encontrados en la revisión bibliográfica. Finalmente, en la Sección cuatro (4) se presentan las principales conclusiones producto de la revisión.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la revisión bibliográfica es el "Análisis de contenido". El análisis de contenido es una de las técnicas más populares y de rápida expansión para la investigación cuantitativa; se puede definir como el análisis sistemático, objetivo y cuantitativo de las características del mensaje (Neuendorf, 2017). El análisis de contenido como método de investigación, pasó de ser una descripción cuantitativa objetiva del contenido manifiesto a una interpretación subjetiva de los datos del texto que tratan con la generación de teorías y la exploración del significado subyacente (Zaidman-Zait, 2014).

Según Krippendorff (2012), dicho análisis difiere de las técnicas clásicas de estudio de documentos, en las que tiende a mediatizar la subjetividad personal del investigador. De igual forma, Noguero (2002) expone que es una técnica de investigación que pretende ser objetiva, sistemática y cuantitativa en el estudio del contenido.

Por otra parte, Bardin (1991) considera que el "Análisis de contenido" pretende sustituir las dimensiones interpretativas y subjetivas del estudio de documentos o de comunicaciones por unos procedimientos cada vez más estandarizados que intentan objetivar y convertir en datos los contenidos de determinados documentos o comunicaciones para que puedan ser analizados y tratados de forma mecánica. El análisis de contenido se presentó, en un primer momento, como reacción contra el

subjetivismo de los análisis clásicos y como consecuencia de la multiplicación de informaciones, como una técnica de constatación de frecuencias o de análisis cuantitativo.

La búsqueda de los artículos científicos se realizó en base de datos como *Science Direct*, *Redalyc*, *ProQuest* y *Scielo*, para la ubicación de estos se usaron palabras claves como: "Plan production", "Production planning", "Optimal production plan", "Production scheduling", "model of production planning".

Los artículos revisados en el tema de planificación de la producción se clasificaron de la siguiente forma:

- Planeación agregada
- Programación lineal (PL)
- Plan maestro de producción
- Planeación de producción por inventarios

Cabe resaltar que dentro de la categoría de PL se incluyeron herramientas relacionadas como son la programación lineal entera y la programación entera mixta (PLM) ya que son muy utilizadas y tienen una gran relevancia en la planeación de la producción en la industria.

Para la revisión bibliográfica del presente artículo se incluyeron un total de 50 artículos científicos enfocados a las categorías antes descritas. En la figura 1 se puede evidenciar que el mayor número de referencias corresponden a investigaciones que utilizan como herramienta principal la programación lineal, contando en esta área con 30 artículos (60%); de igual forma se observa que otra de las herramientas de uso

frecuente entre los investigadores es la planeación agregada la cual cuenta con 11 artículos representando el 22% del total de literatura revisada.

De igual forma, en la figura 2 se observa que la mayor parte de artículos (13) fueron publicados en el año 2015, donde en su

mayoría corresponden a investigaciones de PL con 10 artículos. De igual forma se evidencia la tendencia que han tenido las investigaciones que han utilizado PL como herramienta principal, ya que se observa un crecimiento significativo en cuanto a los artículos publicado a través de los años.

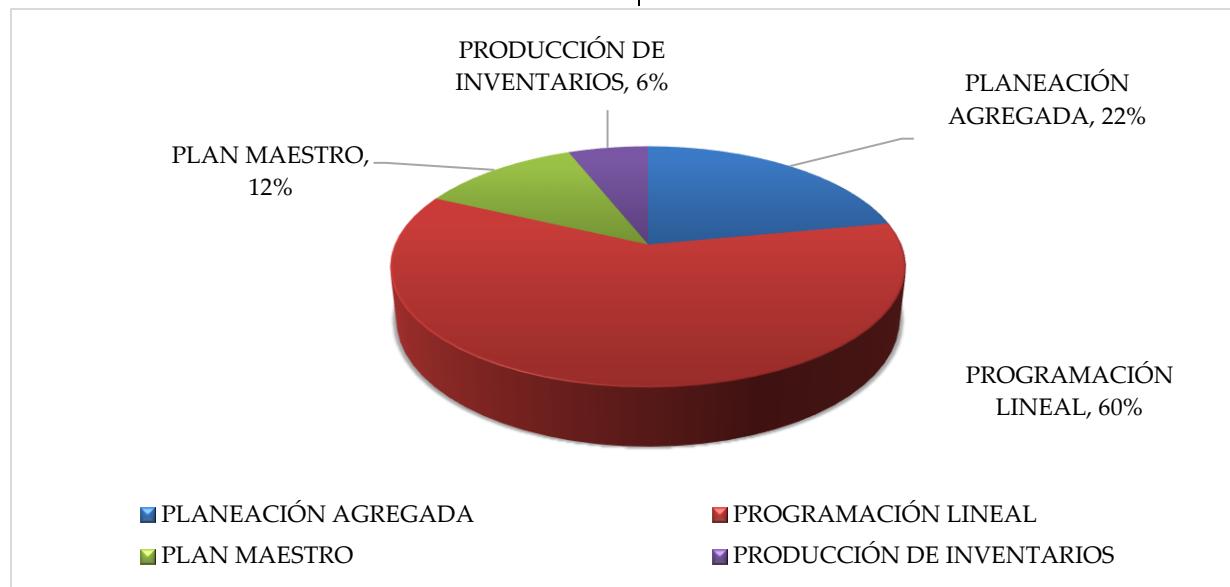


Figura 1. Porcentajes de investigaciones en planificación de la producción

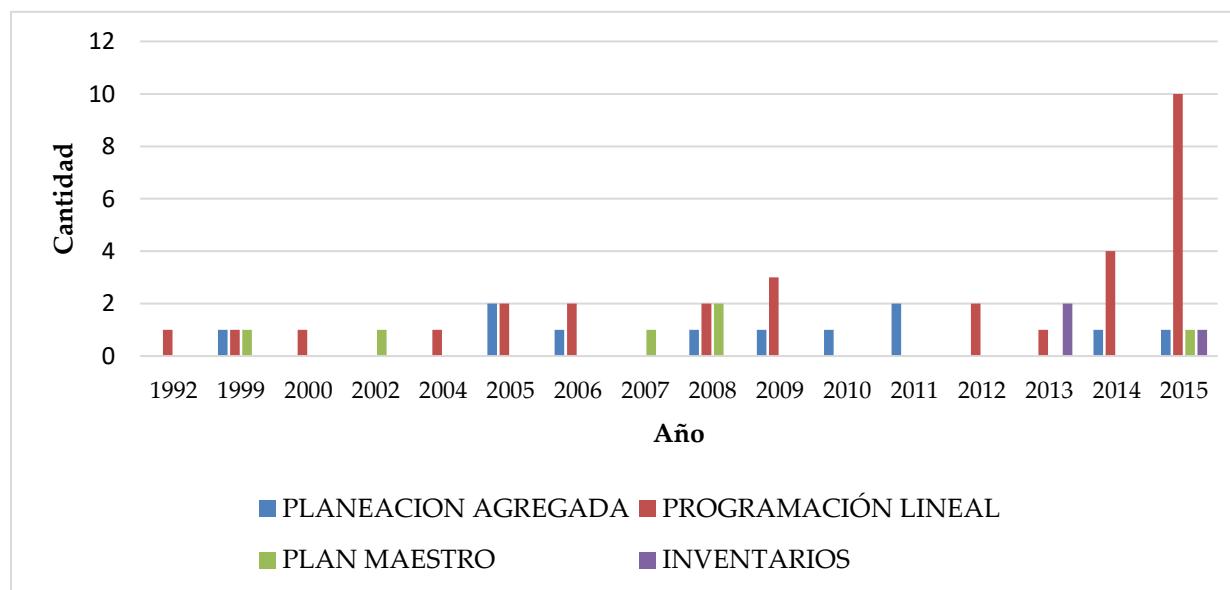


Figura 2. Clasificación de los temas de estudio por años

Resultados y discusión

La presente recopilación documental, parte por definir el concepto de la planificación de la producción y las metodologías que se han realizado sobre el tema, como el modelo de la planificación de la producción agregada, el plan maestro de producción, la planificación de materiales, la programación lineal y modelo de programación de inventarios. En general se han incluido 50 artículos para la revisión de literatura del presente artículo.

Según Render y Heizer (2007), la planificación de la producción consiste en definir el volumen y el momento de fabricación de los productos, estableciendo un equilibrio entre la producción y la capacidad a los distintos niveles, en busca de la competitividad deseada. Para ello, se requiere un proceso unido de planes que vinculen los distintos niveles jerárquicos de la organización; por lo cual planificar es una disciplina de estudios e investigaciones que toda empresa debe implementar para el diseño de procesos de proyección que garanticen y simplifiquen las tareas y actividades necesarias para tal fin. En este sentido, existe un conjunto de investigaciones cuyo objetivo se enfoca en el desarrollo de metodologías para la planificación de la producción, las cuales definen los procedimientos adecuados para dicha planificación y su aplicabilidad a las empresas.

Dentro de los estudios e investigaciones que se han realizado es preciso resaltar autores como Sipper & Bulfin (1997) y Poles

(2013) quienes enfocan la planificación de la producción de manera general, explicando su origen, definiciones formales y describiendo detalladamente cada una de las etapas que conforman el proceso de planificación de la producción.

Entre los enfoques estudiados por estos autores se puede observar que en general las etapas que se siguen para desarrollar un modelo de planificación de la producción contempla la planificación agregada, en donde se determina el número de unidades a producir de cada producto para determinado periodo de tiempo, además del desarrollo de un plan maestro de producción el cual genera las cantidades de cada producto a fabricar en cada uno de los días de la semana que trabaje la empresa, la planificación de materiales donde se genere una lista de los materiales necesarios, para llevar a cabo la producción planeada junto con las cantidades específicas y requeridas de cada uno de ellos, y finalmente la programación de operaciones, la cual involucra cada una de las actividades que se deben llevar a cabo para lograr la producción planeada.

Investigaciones en planificación agregada de la producción (APP)

En este tema de estudio se clasificaron 11 artículos, que orientan como ha sido la planeación agregada, una de las más importantes partes del proceso de planificación de la producción en la industria. APP reduce en gran medida la cantidad de datos utilizados durante el

proceso de planificación y, por lo tanto, permite actualizar los planes con más frecuencia (Cheraghalkhania, 2019).

Leung & Chan (2009) afirma que la planeación agregada aborda la determinación de la fuerza laboral, la cantidad de producción, y los niveles de inventario según con el objetivo de satisfacer los requerimientos para un horizonte de planificación de medio plazo. En una investigación desarrollada por Wang & Liang (2005), se realizó el diseño de un modelo de programación de metas para la planificación de la producción agregada, en la cual establecen una serie de consideraciones de tipo económico, comercial, tecnológico e incluso social o de comportamiento que alimentan y afectan la estrategia, para lo cual determinan el horizonte temporal, los períodos de tiempo, la frecuencia o ritmo de revisión y los plazos de rigidez en los que se deben considerar factores como las características de los mercados, los proveedores de materias primas y de la naturaleza de las operaciones y controles internos. Finalmente concluyen que, si el mercado en el que se debe competir es estacional por cualquier razón, este factor puede ser dominante en la selección de un intervalo temporal para la planificación.

De igual manera para llevar cabo la planificación de la producción agregada (APP), Linn & Zhang (1999), Chu (1995) y Liang (2008), realizaron una propuesta de expansión de la capacidad de un sistema de fabricación en el cual incorporaron múltiples centros de actividad, las

variables que eligieron para su desarrollo fueron la cantidad total de producto que ha producido en un tiempo, el nivel de inventario del artículo, finalmente obtuvieron un modelo de la planificación de la producción agregada con ampliación de la capacidad en el sistema de fabricación basado en la actividad, que puede ser adaptado a diferentes casos.

Así mismo, Sahin, Robinson & Gao (2008) consideran las variables de decisión y restricciones para la planificación, y explican que la eficiencia del plan de producción depende en gran medida de la calidad de la información recolectada, es por ello que se debe optar por elaborar un plan agregado sobre procesos estandarizados. Por otra parte, Poles (2013) examinaron un modelo de planificación agregada para productos terminados y otra para productos intermedios y materia prima con capacidad ilimitada, con fin de diseñar un modelo de optimización simultánea de la producción y compra de los productos (desde la materia prima a los productos finales), con el fin de satisfacer tanto la demanda interna como la externa, sobre un horizonte de planeación de corto plazo.

De igual manera un modelo de optimización robusta de planificación para la producción agregada en una cadena de suministro en condiciones de incertidumbre fue creado por Mirzapour, Malekly & Aryanezhad (2011), en el cual su función objetivo es minimizar las pérdidas totales de la cadena de suministro, incluyendo los costos de

producción, los costos laborales, costos de capacitación, costo de inventario de materia prima, inventario de productos y costos de almacenamiento, costos de transporte, de los cuales se deducen en el total de las ventas.

Gansterer, Almeder & Hartl (2014) y Roghanian, Sadjadi y Aryanezhad (2007) realizaron un modelo de simulación para la planificación agregada a los sistemas de fabricación contra pedido, en el cual. El modelo ha sido desarrollado como un banco de pruebas para situaciones que enfrentan los proveedores Goerzig, Lucke, Lenz, Denner, Lickefett & Bauernhansl (2015). Para ello se tuvo en cuenta las características del mercado (montos y plazos de entrega de los clientes es necesario), diseño de la máquina, y compras (por ejemplo, los tiempos de procesamiento, adquisiciones de materia prima en diferentes tiempos, tiempos de preparación, la aparición y duración de las averías de la máquina).

Desde este punto de vista se consideran tres aspectos importantes para tener en cuenta en la planificación agregada de la producción. Según Balaguer y Márquez (2000), que son el beneficio para la compañía, la satisfacción del cliente y el ambiente de trabajo. Para alcanzar estos tres objetivos los autores proponen ante un caso real de una compañía que elabora materiales para la construcción en Portugal, el desarrollo de un modelo de la programación lineal entera mixta con múltiples criterios. En este modelo consideran los siguientes aspectos: las

restricciones legales sobre la reducción o aumento del tamaño de la fuerza laboral y las horas extras, adoptan la posibilidad de subcontratar producción y de almacenar stock.

Investigaciones de planificación de la producción con modelo de programación lineal

En esta categoría se encuentran ubicados 30 artículos que se orientan a uno de los métodos más importantes para resolver el problema de la planificación de la producción como lo es la programación lineal. A continuación, se presentan los aportes de varios autores y su aplicación en las industrias.

La planificación es un problema de optimización en el que la búsqueda de la solución óptima global es muy difícil y es una tarea que consume tiempo. Hay muchos enfoques que tratan de resolver este problema de optimización, entre ellos los modelos de planificación de la producción, basados en la programación lineal (Gligoric et al, 2019).

La programación lineal (PL) es una de las principales ramas de la Investigación de Operaciones. Por su sencillez los modelos de PL son utilizados para la solución de algunos problemas relacionados con varias ciencias y ha permitido a empresas y organizaciones reducir costos y aumentar rentabilidad (Anderson et al. (2011)). Existen muchos problemas administrativos que se ajustan a este modelo tratando de minimizar o maximizar un objetivo que está sujeto a una lista de restricciones.

En consecuencia, autores como Kerzner (2013) formularon un modelo de PL, el cual considera el número máximo de unidades que se pueden producir durante un periodo determinado, donde dicho periodo tiene en cuenta factores como producción en horas regulares, en horas extras y subcontratación y asimismo contempla el destino donde se entregará dichas producciones en cada uno de los periodos. De la misma forma, Baykasoglu y Gocken (2010) y Ouyang y Chang (2013) plantearon modelos de PL para la planificación de la producción, los cuales constan de una función objetivo y un conjunto de restricciones, con el fin de maximizar ganancias o minimizar los costos, la metodología de aplicación al estudio se realizó por el método de bajo costo de la planificación de la producción para satisfacer al cliente y cumplir con la demanda fluctuante.

Por su parte, Kerzner (2002) desarrollaron un modelo matemático para la planificación y programación de la producción en una industria farmacéutica mediante el análisis de los principales aspectos que influyen en la planificación y la programación, y define un ámbito de aplicación ampliado de los problemas relacionados, como una forma de dar cuenta de los niveles más altos de integración entre el diseño y el proceso de toma de decisiones operativas.

Asimismo, aplicando la metodología de la investigación de operaciones, un estudio sobre optimización de la planificación de la producción de la pesca fue realizado por

Morales, et al. (2009), el cual se dividió en tres partes principales, las poblaciones de peces y la cosecha, procesamiento de pescado, y la comercialización. De ahí se concentra la atención en la planificación integrada, donde las operaciones de la flota pesquera se combinan con la planta de procesamiento. Luego muestran una visión más amplia de las necesidades de la cadena de suministro que se adoptará como muchas empresas de este sector industrial que se esfuerzan por mejorar sus utilidades, su capacidad productiva, la eficiencia operativa y la rentabilidad.

Por otra parte, Maldonado, Rangel y Ferreira (2014) estudian las diferentes estrategias para la planificación de la producción de bebidas gaseosas, para obtener la secuencia de lotes en la fase de embotellado; para ello utilizan los modelos matemáticos y restricciones clásicas, incluyendo restricciones de flujo de múltiples productos básicos para eliminar subsecuencias. En este trabajo estudiaron para la etapa individual, el problema de programación solo lote- máquina en el contexto de la producción de refrescos. Los modelos difieren por el conjunto de restricciones utilizadas para eliminar subsecuencias desconectadas al proceso.

Belsnes, Wolfgang, Follestad y Aasgård (2016) realizaron el diseño de un modelo para la programación óptima de la producción en una pequeña empresa de calzado ubicada en la ciudad de San José de Cúcuta (Colombia), en la cual utilizan una metodología basada en la identificación de las restricciones, en donde se clasifican y

analizan para desarrollar un programa óptimo de producción mediante el modelo de la PL. Este modelo puede ser utilizado por cualquier pequeña empresa que cuente con las características y operaciones similares a las de la empresa estudiada.

Por otra parte, para describir los sistemas de producción combinados con modelos logísticos, Seitz y Nyhuis (2015) introducen el concepto de fábrica de aprendizaje con el fin de mejorar la planificación y control de producción, la metodología utilizada parte de la demanda de mayor rendimiento logístico a unos menores costos logísticos. Además, describen los desafíos que enfrentan las empresas de producción en la planificación y el control de su procesamiento de pedidos. Dentro de este contexto, se ha demostrado que en términos de consecución de los objetivos de logística y aumentar la competitividad de una empresa, en general hay un enorme potencial tanto en la recopilación, el suministro y el análisis de datos operativos, así como en el ámbito de las competencias de los empleados.

Bakhrankova, Midthun y Uggen (2014) presenta un modelo de PL difusa de seis componentes: tres proveedores, un departamento de compras, una planta de producción y un departamento de mercadeo y ventas. El objetivo es maximizar las ganancias en la cadena de suministros a través del desarrollo de varios modelos de PL difusa; dicho modelo se centra en el papel del departamento de compras para la consecución de materia prima más económica, con mejores tiempos

de entrega y de mejor calidad, y el rol del departamento de mercadeo y ventas para el aumento en la demanda del producto, con precios de venta altos. Las inversiones en estos dos departamentos disminuyen en proporción diferente lo que la empresa debe invertir en la planta de producción para lograr competitividad.

Por su parte, Takahashi, Onosato y Tanaka (2015) planifican la producción de forma que se correlaciona complejamente a los problemas de producción. La metodología que usaron para la planificación se divide en sub-problemas basados en experiencias anteriores, a fin de facilitar la investigación. Además, las actividades en el que resuelven cada sub-problema son determinadas por las prioridades entre los sub-problemas. Adicionalmente los autores han propuesto una representación de combinaciones de alternativas en la planificación de la producción mediante el uso de diagramas de decisión binaria.

Viveros y Salazar (2010) realizaron la planificación de la producción en la industria del vestido, en la cual se muestra una breve reseña acerca de los sistemas de producción y los diversos tipos de sistemas de producción con una visión general de la gestión de la cadena de suministro y sus actividades. En la investigación se desarrolla un marco teórico para la evaluación de las diversas estrategias tanto para la planificación de la producción y gestión de pedidos en la industria. Igualmente, para la investigación se utilizó un método el cual inicia con la generación de órdenes de acuerdo con una tasa de

llegada para cada producto, donde cada orden puede ser aceptada o rechazada de acuerdo con una política determinada. Si el pedido es rechazado, deja el sistema y por el contrario si es aceptado, se espera a la fecha de entrega y el material disponible.

Zhang, Ong y Nee (2015) presenta un modelo interactivo de PL con un enfoque probabilístico para resolver un problema de planeación agregada de la producción con una estimación imprecisa de la demanda, relacionando costos operacionales y capacidad. El enfoque propuesto intenta minimizar los costos totales con referencia al nivel de inventarios, labores en tiempo suplementario, subcontratación y nivel de órdenes retrasados, capacidad de máquinas y almacén. El propósito del problema de PL es proporcionar una eficiente planeación agregada y sobre todo un grado de satisfacción de quien toma la decisión de acuerdo con los valores de las metas determinadas.

En otra aplicación, Wang y Liang (2004) desarrollan un modelo difuso de PL multiobjetivo para solucionar un plan agregado de producción en un ambiente difuso. Los principales objetivos del modelo es minimizar los costos de producción, costos de almacenamiento y costos de retrasos generados por el cambio en los niveles de trabajo, inventario, capacidad, espacio de almacenamiento y el valor del dinero en el tiempo. Valencia, Lambán y Royo (2014); Pradenas, Peñailillo y Ferland (2004); Das y Patnaik (2015); Guchhait, Maiti, y Maiti (2013);

Ramezanian, Rahmani y Barzinpour (2012); Jiménez y Bilbao (2009); Leung y Chan (2009) explican una amplia visión de la PL donde el modelo diseñado pretende minimizar los costos totales y el tiempo total de entrega en relación con los niveles de inventario, niveles disponibles de mano de obra y capacidad de la máquina en cada fuente, la demanda del mercado y espacio de almacenamiento en cada destino, y el valor temporal del dinero para cada una. Por otra parte, cabe destacar que dentro de la PL se establecen dos herramientas complementarias que son utilizadas para la programación de la producción como son la programación lineal entera y la programación lineal entera mixta (MILP) en donde diferentes autores han hecho sus aportes y se muestran a continuación.

Liang (2006) realizaron una investigación con el fin de realizar la programación de los trabajos en una maquina utilizando un modelo de MILP, con las variables de decisión del modelo que corresponde a la fecha de inicio de la operación, las variables que representan terminación a tiempo del trabajo. Finalmente estructuran el modelo en donde queda en evidencia la importancia del modelamiento matemático en la solución de problemas empresariales. En este caso se llegó rápidamente a una solución asistida por una herramienta informática llamada LINGO. Según sus autores a través del uso de ese tipo de variable fue posible modelar una condición importante del problema que radicaba en la necesidad de no permitir que dos

operaciones se programaran simultáneamente.

De igual forma, Zhang, Nee y Ong (1995) realizaron un modelo de optimización para la planificación y programación de los procesos de remanufactura por medio de un modelo de MILP, donde consideran el proceso de planificación integrada y el problema de programación para un sistema de remanufactura típico. Por otra parte, Sánchez y Puente (2006) utilizaron un modelo de MILP como una herramienta para la planificación de las importaciones en el contexto de una empresa dedicada a la manufactura y venta de componentes de acero.

Asimismo, Kuwano (1996) y Linn y Zhang (1999) realizaron un modelo basado en MILP para la planificación de la producción y distribución en una industria de refrescos, donde implementaron una metodología híbrida que combina la heurística y la simulación. El modelo es utilizado para determinar la cantidad a producir y entregar a cada uno de los clientes. Posteriormente, el modelo de simulación se aplica para capturar la incertidumbre en la tasa de producción. El enfoque híbrido desarrollado es capaz de resolver el tamaño real dentro de un plazo razonable de tiempo y demostrar la aplicabilidad del enfoque propuesto.

Jiménez y Bilbao (2009) y Ramezanian, Rahmani y Barzinpour (2012) proponen un modelo para la planificación agregada de producción por medio de MILP, el cual es solucionado mediante herramientas de investigación de operaciones, donde se

obtuvieron resultados computacionales que muestran que estas cifras podrían ser eficientes para problemas a gran escala. De igual forma, Mula, Poler, García-Sabater y Lario (2006) proponen un modelo de planificación de producción para la industria química mediante MILP, el cual busca abarcar toda la cadena de suministro, incorporando como elemento adicional el uso de las diferentes escalas de tiempo existentes entre la producción y la comercialización, en un sistema productivo de multi-planta, cuya demanda de productos considera el origen de los productos suministrados, incluyendo la posibilidad de satisfacer la demanda con producción externa.

Investigaciones de plan maestro de producción

En esta sección se encuentran clasificados 6 artículos del Plan Maestro de Producción (MPS) que, partiendo de las restricciones establecidas en el plan agregado, determina la cantidad a fabricar de cada artículo, así como el momento en que se debe iniciar dicha producción. La jerarquía de planes finaliza con la programación y control de la producción a corto plazo, en la que se procede a asignar la producción a cada centro de trabajo, considerando los tiempos de servicio de los procesos y controlando el correcto cumplimiento de los plazos de entrega (Peidro, Mula, Poler y Verdegay, 2009).

El MPS es la desagregación del Plan Agregado de Producción, ambos planes difieren en su precisión. El Plan Agregado de Producción es un plan macro que

establece el nivel global de producción en términos generales y el Plan Maestro de Producción es un plan micro y detallado que especifica que artículo producir, cuándo y cuánto producir en el corto plazo, concreta el plan agregado tanto en unidades como en tiempo (Sandoval, 2016). En ese sentido, autores como Acevedo y Mejía (2006) realizaron un modelo de programación de la producción que permitía disgregar la información mensual que proporciona la planificación agregada, semana a semana, ya no por familias, sino por productos. El objetivo fue orientado a establecer la mejor asignación y ordenamiento en el tiempo de los recursos compartidos, considerando restricciones del sistema y algún objetivo de fabricación de los productos. Ramezanian, Rahmani y Barzinpour (2012) afirma que el MPS permite establecer la planificación de la producción de la gama de productos finales de un sistema productivo, para un horizonte temporal a corto plazo, en cantidad y momento para cada uno.

Por otra parte, Wang y Grubbström (2002); Wang y Liang (2005); Raa, Dullaert, y Aghezzaf (2013); Hees y Reinhart (2015) desarrollaron investigaciones con fin de diseñar MPS bajo incertidumbre de la demanda con el fin de determinar la cantidad a producir y el periodo de ejecución. El diseño de los modelos evalúa el impacto de los factores ambientales y tiene en cuenta las condiciones óptimas del sistema real, medido por el costo y la estabilidad del horario y en segunda instancia tiene en cuenta el tamaño de la

orden del proveedor, donde la flexibilidad es el principal factor que afecta el rendimiento del sistema. Finalmente se obtiene que el fabricante de la política óptima MPS es a menudo ineficaz para el proveedor, lo que resulta en costos totales significativamente mayor que la política óptima del sistema.

Programación de producción por inventarios

En esta sección se establecen 3 artículos cuyo objetivo es encontrar las cantidades óptimas de producción teniendo en cuenta restricciones y políticas de inventarios. El inventario desempeña un papel indispensable en el crecimiento y la supervivencia de una organización en el sentido de que el fracaso en una gestión de inventario eficaz y eficiente significará que la organización perderá clientes y las ventas disminuirán (Riza et al, 2018).

Das, Rickard, Shah y Macchietto (2000) afirma que la producción por inventarios es un puente de unión entre la producción y las ventas. Los inventarios de materia prima dan flexibilidad al proceso de compra de la empresa, comparando la materia prima estrictamente necesaria para mantener el plan de producción, con el cual la empresa puede realizar sus tareas de producción, de compra economizando recursos, y también atendiendo a sus clientes con más rapidez.

Guchhait, Maiti y Maiti (2013) desarrollan un modelo de inventario para dos almacenes de deterioro de artículos con existencias y precio de venta de demanda pendiente, en donde utilizaron la

combinación de diferentes herramientas como la optimización de partículas (PSO) y Algoritmo Genético (GA) una heurística híbrida, que se adoptan para encontrar la solución del modelo planteado.

Por otra parte, Pasandideh, Niaki y Gharaei (2015) realizaron un estudio para encontrar las cantidades óptimas de los productos, de tal modo que se minimizara el costo total de inventario para todos los productos, donde dicho modelo se utiliza con casos prácticos de la producción. El modelo propuesto fue desarrollado en su forma

simplificada, ha demostrado ser de Tipo de programación no lineal, y utilizaron la programación cuadrática secuencial (SQP) con el fin de encontrar cantidades óptimas del comprador. Los resultados de las implementaciones mostraron un buen rendimiento.

Los artículos anteriormente referenciados, los cuales han sido objeto de revisión en cada una de las temáticas tratadas se muestran en un resumen de sus autores en la Tabla 1.

Tabla 1. *Clasificación de temas de estudio por autores.*

TEMA	LITERATURA
Planificación agregada de la producción	Reay-Chen & Liang (2005), Leung & Chang (2009), Baykasoglu & Gocken (2010), Linn & Zhang (1999), Chu (2005) y Liang (2006), Sahin, Robinson & Gao (2008), Pochet (2011), Hashern, Malekly & Aryanezhad (2011), Gansterer, Almeder & Hartl (2014) y Gansterer (2015), Gomes da Silva (2006)
Programación lineal	Graves(1999), Ponsot & Márquez (2000), Nam & Ogender (1992), Sánchez & Puente (2006), Kerzner (2013) Maldonado & Ferreira (2014), Fozel (2007), Seitz & Nyhuis (2015), Goerzing Lucke, Lenz, Denner, Lickeffet & Bauernhansl (2015), Takahaski, Onosato & Tanoko (2015), Ortiz & Caicedo (2014), Ramezanian, Rahmoni & Barzinpour (2012), Medina, Cruz & Restrepo (2008), Zhang, Ong & Nee (2015); Kumano (2006); Sel, & Bilgen (2014); Pradeñas, Peñailillo & Ferland (2004); Jiménez & Bilbao (2009); CHU, Sydney (2005), Mirzapour, Malekly, & Aryanezhad (2011); Ramezanian, Rahmani & Barzinpour (2012). Wang & Liang (2005); Leung & Chan (2009), Das & Patnaik (2015); Dumetz, Gaudreault; Thomas & Marier; Lehoux & Haouzi (2015), Bakhrankova, Midthun & Uggen, (2014), Seitz & Nyhuis (2015), Goerzig, Lucke, Lenz, Denner, Lickeffet & Bauernhansl (2015); Jiménez & Bilbao (2009) y Timpe & Kalltrath (2011).
Plan maestro de producción	Yangez (2007), Acevedo & Mejía (2006) Tang (2002), Lian (2008), Robinson & Gao (2008), Hees & Reinhart (2015)
Programación de producción por inventarios	Finney& Miller (1999), Guchhait & Maiti (2013), Pasandideh & Gharaei (2015)

CONCLUSIONES

El análisis de contenido realizado al tema de planificación de la producción muestra que las investigaciones han aumentado considerablemente en los últimos años, siendo el 2014 y 2015 los más relevantes y se observa que se ha utilizado esta metodología en los diferentes sectores de la industria con el objetivo de definir el volumen y el momento de fabricación de los productos, estableciendo un equilibrio entre la producción y la capacidad a los distintos niveles y buscando la competitividad deseada.

Además, se observa que la PL es el método más utilizado por varios autores para la planificación de la producción abarcando un 60% de las investigaciones consultadas, por su sencillez los modelos de PL son utilizados para la solución de algunos problemas relacionados con varias ciencias y ha permitido a empresas y organizaciones reducir costos y aumentar rentabilidad. También se evidencia que la cantidad de investigaciones que utilizan el método de planificación de la producción por inventarios es baja, debido a su complejidad en cuanto al diseño de modelos que contengan este factor.

Asimismo, la revisión literaria muestra que las investigaciones de PL presentan una metodología de aplicación muy parecida para los diversos campos de la industria, en el cual se trata de minimizar o maximizar un objetivo que está sujeto a una lista de restricciones, como materia prima, maquinaria, costos de producción,

disponibilidad mano de obra, los cuales proporcionan la información necesaria para alimentar los modelos y llegar a las soluciones deseadas.

También, las investigaciones relacionadas con la planificación agregada han tenido gran importancia por los aportes que se han realizado desde el año 2005 hasta la actualidad y el cual sigue siendo objeto de estudio. Estos trabajos disponen de una opción ventajosa y relativamente nueva a la hora de realizar un modelo integrado de planificación agregada y evaluar estas propuestas junto con las opciones de la subcontratación, del uso de horas extras, de recurrir a ampliar o reducir la planilla laboral con empleos y despidos respectivamente, de los modelos clásicos, para encontrar una solución óptima en cuanto a los diferentes criterios de evaluación que se plantean.

De acuerdo con lo anterior los modelos de programación lineal son los más importantes para resolver el problema de la planificación agregada por la versatilidad y calidad de los resultados que ofrecen [69]. Esta afirmación puede corroborarse al revisar las publicaciones científicas de los últimos años en las que se ha hecho un uso extendido de estas metodologías, seguido de los métodos de la regla de decisión lineal (LDR).

Adicionalmente, se evidenció que para la solución de los modelos diseñados a través de herramientas como la programación lineal se hace uso de software como LINGO, que permiten establecer de formas

óptima los requerimientos de la producción. De igual manera en la actualidad existen diferentes alternativas de Sistemas de Gestión de la Producción, acorde a las características propias del proceso productivo (variedad, volumen de producción, complejidad del producto, nivel técnico y tecnológico, etc.), cuyo objetivo es controlar el proceso de producción dentro del sistema empresarial. En general las investigaciones en la planificación de la producción fundamentan que las empresas deben Planear la producción porque trae muchas ventajas como son la determinación del número de unidades a producir en un período, el cálculo de las necesidades de mano de obra, materia prima, maquinaria y equipo, con base en lo producido en períodos anteriores, el cumplimiento de los pedidos para las fechas estipuladas, las

compras de materia prima teniendo como base las existencias de la materia prima necesaria para la producción estimada y los recursos económicos para financiar la producción.

En general al revisar la literatura de la evolución de los sistemas de producción, se identifica una tendencia de estas filosofías hacia la auto organización de sus elementos y la gestión horizontal. En este sentido, emerge una nueva generación de esquemas de fabricación que promueven la sinergia entre los eslabones de la cadena de producción, de manera de aprovechar la máxima capacidad de todos los involucrados al menor costo posible a través de la construcción de sistemas informáticos, que modelan la situación real de trabajo y que en muchos casos también colaboran con la labor logística y operacional de las fábricas.

REFERENCIAS

- Acevedo, J. & Mejía, G. (2006). Programación reactiva y robusta de la producción en un ambiente sistema de manufactura flexible: llegada de nuevas órdenes y cambios en la prioridad de las órdenes de trabajo. Universidad de los Andes, *Memos de Investigación*, <http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/handle/1992/848>
- Anderson, D. R. S. et al. (2011). *Quantitative methods for business*. CENGAGE Learning.
- Bakhrankova, K., Midthun, K. T., y Uggen, K. T. (2014). Stochastic optimization of operational production planning for fisheries. *Fisheries Research*, 157, 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.03.018>
- Bakhrankova, K., Midthun, K. y Uggen, K. T. (2014). Stochastic optimization of operational production planning for fisheries. *Fisheries Research*, 157, 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.03.018>
- Balaguer, E. P. y Márquez, V. (2000). Modelo de programación lineal de la producción, integrado en un sistema computarizado de producción, inventario y ventas industrial. *Economía*, 25(16), 73-90. http://iies.faces.ula.ve/Revista/Articulos/Revista_16/Pdf/Rev16Ponsot.pdf
- Bardin, L. (1991). *Análisis de contenido*. Madrid: Ediciones Akal.
- Baykasoglu, A. y Gocken, T. (2010). Multi-objective aggregate production planning with fuzzy parameters. *Advances in Engineering Software*, 41(9), 1124-1131. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2010.07.002>
- Belsnes, M. M., Wolfgang, O., Follestad, T., y Aasgård, E. K. (2016). Applying successive linear programming for stochastic short-term hydropower optimization. *Electric Power Systems Research*, 130, 167-180. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.08.020>
- Cheraghalkhania, A., Khoshalhana, F. and Mokhtarib, H. (2019). Aggregate production planning: A literature review and future research directions. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 10, 309-330. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2018.6.002>
- Chu, S. C. (1995). A mathematical programming approach towards optimized master production scheduling. *International Journal of Production Economics*, 38 (2), 269-279. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(95\)00015-G](https://doi.org/10.1016/0925-5273(95)00015-G)
- Cuatrecasas, L. (2011). *Organización de la producción y dirección de operaciones*. Madrid: Editorial Díaz de Santos.
- Das, B. P., Rickard, J. G., Shah, N. y Macchietto, S. (2000). An investigation on integration of aggregate production planning, master production scheduling and short-term production scheudling of batch process operations through a common data model. *Computers & Chemical Engineering*, 24(2), 1625-1631. [https://doi.org/10.1016/S0098-1354\(00\)80014-9](https://doi.org/10.1016/S0098-1354(00)80014-9)
- Das, S. y Patnaik, A. (2015). *Production planning in the apparel industry*. *Garment Manufacturing Technology*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing.
- Das, S., & Patnaik, A. (2015). Production planning in the apparel industry. *Garment Manufacturing Technology*, 81. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-232-7.00004-7>
- Dumetz, L., Gaudreault, J., Thomas, A., Marier, P., Lehoux, N., y el-Haouzi, H. (2015). A simulation framework for the evaluation of production planning and order management

- strategies in the sawmilling industry. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 622-627. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.151>
- Gansterer, M., Almeder, C., & Hartl, R. F. (2014). Simulation-based optimization methods for setting production planning parameters. *International Journal of Production Economics*, 151, 206-213. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.10.016>
- Goerzig, D., Lucke, D., Lenz, J., Denner, T., Lickefett, M., & Bauernhansl, T. (2015). Engineering Environment for Production System Planning in Small and Medium Enterprises. *Procedia CIRP*, 33, 111-114. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.06.021>
- Gligorić, M., Gligorić, Z., Beljić, C., Lutovac, S. & Damnjanović, V. (2019). Long-Term Room and Pillar Mine Production Planning Based on Fuzzy 0-1 Linear Programming and Multicriteria Clustering Algorithm with Uncertainty. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-26. <https://doi.org/10.1155/2019/3078234>
- Guchhait, P., Maiti, M. K. y Maiti, M. (2013). Production-inventory models for a damageable item with variable demands and inventory costs in an imperfect production process. *International Journal of Production Economics*, 144(1), 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.02.002>
- Guchhait, P., Maiti, M. K. y Maiti, M. (2013). Production-inventory models for a damageable item with variable demands and inventory costs in an imperfect production process. *International Journal of Production Economics*, 144(1), 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.02.002>
- Hees, A. y Reinhart, G. (2015). Approach for Production Planning in Reconfigurable Manufacturing Systems. *Procedia CIRP*, 33, 70-75. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.06.014>
- Herrera, L.A y Martínez, C.R. (2011). *Planeación y control de la producción: Administración de la cadena de suministros*. México: McGraw-Hill.
- Jiménez, M. y Bilbao, A. (2009). Pareto-optimal solutions in fuzzy multi-objective linear programming. *Fuzzy Sets and Systems*, 160(18), 2714-2721. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2008.12.005>
- Jiménez, M., & Bilbao, A. (2009). Pareto-optimal solutions in fuzzy multi-objective linear programming. *Fuzzy Sets and Systems*, 160(18), 2714-2721. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2008.12.005>
- Kerzner, H. R. (2002). *Strategic planning for project management using a project management maturity model*. EE.UU: John Wiley & Sons.
- Kerzner, H. R. (2013). *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. EE.UU: John Wiley & Sons.
- Khoshalhan, F. y Khani, A. C. (2012). An Integrated Model of Aggregate Production Planning with Maintenance Costs. *International Journal of Industrial Engineering*, 23(1), 67-77. <http://ijiepm.iust.ac.ir/article-1-860-en.pdf>
- Krippendorff, K. (2012). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Kuwano, H. (1996). On the fuzzy multi-objective linear programming problem: Goal programming approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 82(1), 57-64. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(95\)00231-6](https://doi.org/10.1016/0165-0114(95)00231-6)
- Leung, S. C. y Chan, S. S. (2009). A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint. *Computers & Industrial Engineering*, 56(3), 1053-1064. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.09.017>
- Leung, S. C., & Chan, S. S. (2009). A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint. *Computers & Industrial Engineering*, 56 (3), 1053-1064. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.09.017>

- Liang, T. F. (2006). Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi-objective linear programming. *Fuzzy Sets and Systems*, 157(10), 1303-1316. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2006.01.014>
- Liang, T. F. (2008). Fuzzy multi-objective production/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in a supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 55(3), 676-694. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.02.008>
- Linn, R. y Zhang, W. (1999). Hybrid flow shop scheduling: a survey. *Computers & industrial engineering*, 37(1), 57-61. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(99\)00023-6](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(99)00023-6)
- Linn, R., & Zhang, W. (1999). Hybrid flow shop scheduling: a survey. *Computers & industrial engineering*, 37(1), 57-61. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(99\)00023-6](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(99)00023-6)
- Maldonado, M., Rangel, S., y Ferreira, D. (2014). A study of different subsequence elimination strategies for the soft drink production planning. *Journal of applied research and technology*, 12(4), 631-641. [https://doi.org/10.1016/S1665-6423\(14\)70080-X](https://doi.org/10.1016/S1665-6423(14)70080-X)
- Miller, A. J. y Wolsey, L. A. (2003). Tight formulations for some simple mixed integer programs and convex objective integer programs. *Mathematical Programming*, 98(1-3), 73-88. <https://doi.org/10.1007/s10107-003-0397-3>
- Mirzapour Al-E-Hashem, S. M. J., Malekly, H., & Aryanezhad, M. B. (2011). A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 134(1), 28-42. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.01.027>
- Morales, Y. L. et al. (2009). Modelamiento y simulación del proceso de producción de azúcar a partir de caña en un ingenio azucarero colombiano aplicando lenguajes de programación de alto nivel. *Revista ION*, 22(1). <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/195/962>
- Mula, J., Poler, R. Garcia-Sabater, J. P. y Lario, F. C. (2006). Models for production planning under uncertainty: A review. *International journal of production economics*, 103(1), 271-285. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.09.001>
- Munier, N. J. (1986). *Aplicaciones de la programación lineal*. Buenos Aires. Buenos Aires: Astrea.
- Neuendorf, K. A. (2017). *The Content Analysis Guidebook, 2th edition*. Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications.
- Noguero, F.L. (2002). El análisis de contenido como método de investigación.XXI. *Revista de educación*, (4), 167-180. <http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/1912/b15150434.pdf>
- Ouyang, L. Y., & Chang, C. T. (2013). Optimal production lot with imperfect production process under permissible delay in payments and complete backlogging. *International Journal of Production Economics*, 144(2), 610-617. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.04.027>
- Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A. y Gharaei, A. (2015). Optimization of a multiproduct economic production quantity problem with stochastic constraints using sequential quadratic programming. *Knowledge-Based Systems*, 84, 98-107. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.04.001>
- Peidro, D., Mula, J., Poler, R. y Verdegay, J. L. (2009). Fuzzy optimization for supply chain planning under supply, demand and process uncertainties. *Fuzzy Sets and Systems*, 160(18), 2640-2657. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2009.02.021>
- Poles, R. (2013). System Dynamics modelling of a production and inventory system for remanufacturing to evaluate system improvement strategies. *International Journal of*

- Production Economics*, 144 (1), 189-199. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.02.003>
- Poles, R. (2013). System Dynamics modelling of a production and inventory system for remanufacturing to evaluate system improvement strategies. *International Journal of Production Economics*, 144(1), 189-199. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.02.003>
- Pradenas, L., Peñailillo, F. y Ferland, J. (2004). Aggregate production planning problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 18, 193-199. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2004.06.031>
- Raa, B., Dullaert, W. y Aghezzaf, E. H. (2013). A matheuristic for aggregate production-distribution planning with mould sharing. *International Journal of Production Economics*, 145(1), 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.01.006>
- Ramezanian, R., Rahmani, D. y Barzinpour, F. (2012). An aggregate production planning model for two phase production systems: Solving with genetic algorithm and tabu search. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 1256-1263. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.134>
- Ramezanian, R., Rahmani, D. y Barzinpour, F. (2012). An aggregate production planning model for two phase production systems: Solving with genetic algorithm and tabu search. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 1256-1263. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.134>
- Ramezanian, R., Rahmani, D., & Barzinpour, F. (2012). An aggregate production planning model for two phase production systems: Solving with genetic algorithm and tabu search. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 1256-1263. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.134>
- Render, B. y Heizer, J. (2014). *Principios de Administración de Operaciones*, 9na edición. México: Edit. Hall Hispanoamericana Edic. 1ra.
- Roghanian, E., Sadjadi, S. J., y Aryanezhad, M. B. (2007). A probabilistic bi-level linear multi-objective programming problem to supply chain planning. *Applied Mathematics and computation*, 188(1), 786-800. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2006.10.032>
- Riza M. , Purba H. H. & Mukhlisin (2018). The implementation of economic order quantity for reducing inventory cost. *Research in Logistics & Production*, 8(3), 207-216. <https://doi.org/10.21008/j.2083-4950.2018.8.3.1>
- Sahin, F., Robinson, E. P., & Gao, L. L. (2008). Master production scheduling policy and rolling schedules in a two-stage make-to-order supply chain. *International Journal of Production Economics*, 115(2), 528-541. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.05.019>
- Sánchez, C. C. y Puente, M. M. (2006). Formulación de un modelo de programación lineal entera mixta para el departamento de las importaciones en régimen aduanero definitivo para una Empresa de Producción. *Industrial Data*, 9(2), 033-038. <https://doi.org/10.15381/idata.v9i2.5864>
- Sandoval, F. (2016). *Diseño de un sistema para la mejora de la cadena de abastecimiento en el sector: industria azucarera, utilizando la herramienta: "MPS (master production schedule)", para la mejora de la competitividad empresarial*. Tesis de Pregrado. Universidad Dr. José Matías Delgado, El Salvador.
- Seitz, K. F. y Nyhuis, P. (2015). Cyber-Physical Production Systems Combined with Logistic Models-A Learning Factory Concept for an Improved Production Planning and Control. *Procedia CIRP*, 32, 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.220>
- Silver, E. A., Pyke, D. F. y Peterson, R. (1998). *Inventory management and production planning and scheduling*. New York: Wiley.
- Sipper, D., & Bulfin, R. L. (1997). *Production: planning, control, and integration*. México:

- McGraw-Hill Science, Engineering & Mathematics.
- Sun, D., Huang, R., Chen, Y., Wang, Y., Zeng, J., Yuan, M., Pong, T. and Qu, H. (2020). PlanningVis: A Visual Analytics Approach to Production Planning in Smart Factories. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26(1), 579-589. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2934275>
- Taha, H.A. (2008). *Investigación de Operaciones*. México: Pearson.
- Takahashi, K., Onosato, M. y Tanaka, F. (2015). A comprehensive approach for managing feasible solutions in production planning by an interacting network of Zero-Suppressed Binary Decision Diagrams. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2(2), 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2014.12.005>
- Tang, O. y Grubbström, R. W. (2002). Planning and replanning the master production schedule under demand uncertainty. *International journal of production economics*, 78(3), 323-334. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00100-6)
- Valencia, J., Lambán, M., & Royo, J. (2014). Desarrollo de un modelo para determinar el lote óptimo de producción mediante programación no lineal y propuesta de su resolución con una hoja de cálculo. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (72), 134-144. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/15545/17222>
- Viveros, G. y Salazar, T. (2010). *Administración de la producción como ventaja competitiva*. México: McGraw-Hill.
- Viveros, R., & Salazar, E. (2010). Modelo de Planificación de Producción para un Sistema Multiproducto con Múltiples Líneas de Producción. *Revista Ingeniera de Sistemas*, 24. <http://www.dii.uchile.cl/~ris/RISXXIV/Viveros89.pdf>
- Wang, R. C. y Liang, T. F. (2005). Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning. *International Journal of Production Economics*, 98(3), 328-341. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.09.011>
- Wang, R. C., & Liang, T. F. (2004). Application of fuzzy multi-objective linear programming to aggregate production planning. *Computers & Industrial Engineering*, 46(1), 17-41. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2003.09.009>
- Wang, R. C., & Liang, T. F. (2005). Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning. *International Journal of Production Economics*, 98(3), 328-341. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.09.011>
- Zaidman-Zait, A. (2014). Content Analysis. In: Michalos A.C. (eds) *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0753-5_552 <https://dx.doi.org/10.4135/9781071802878>
- Zhang, R., Ong, S. K., y Nee, A. Y. C. (2015). A simulation-based genetic algorithm approach for remanufacturing process planning and scheduling. *Applied Soft Computing*, 37, 521-532. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.08.051>
- Zhang, Y. F., Nee, A. Y. C. y Ong, S. K. (1995). A hybrid approach for set-up planning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 10(3), 183-190. <https://doi.org/10.1007/BF01179346>
- Zotelo, Y.; Mula, J.; Díaz-Madroñero, M.; González, E. (2017). Plan maestro de producción basado en programación lineal entera para una empresa de productos químicos. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, Sevilla, 24, 147-168. <https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2885>

Autores

Julián Silva Rodríguez. Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial. Docente-Investigador, Grupo de Investigación en Gestión Integral de os Servicios y Productividad Agroindustrial (GISPA), Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Santo Tomas, Tunja, Colombia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7497-8632>

Email: julian.silva@usantoto.edu.co

Sandra Lazo Jiménez. Ingeniero Industrial, Universidad de Boyacá, Tunja, Colombia.

Email: splazo@uniboyaca.edu.co

Daniela Palencia Molina. Ingeniero Industrial, Universidad de Boyacá, Tunja, Colombia.

Email: danpalencia@uniboyaca.edu.co

Mayra D'Armas Regnault. Ingeniero Industrial, Magíster en Ingeniería Industrial, Doctora en Ingeniería de la Producción. Profesora Universidad Estatal de Milagro, Ecuador.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6288-1566>

Email: mdarmasr@unemi.edu.ec

Recibido: 18-01-2020

Aceptado: 24-03-2020