Capítulo 4 Procedimiento matemático, mediante un sistema de enseñanza de planificación de requerimientos de materiales (MRP)

Chapter 4 Mathematical procedure, using a Materials Requirements Planning (MRP) teaching system

GAVIÑO-ORTIZ, Gabriela†*, BARRIOS-BORJES, Eleany y LOPEZ-ABUNDIS, Eduardo

Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Universitario UAEM Valle de México. Blvd. Universitario s/n Predio San Javier, Atizapán de Zaragoza, México, C.P. 54500

ID 1^{er} Autor: *Gabriela, Gaviño-Ortiz* / **ORC ID:** 0000-0002-8951-7633, **Researcher ID Thomson:** D-9721-2018, **arXiv Author ID:** Gaby#1, **CVU CONACYT ID:** 516812

ID 1^{er} Coautor: *Eleany, Barrios-Borjes* / **ORC ID:** 0000-0002-5212-6663

ID 2^{do} Coautor: *Eduardo, López-Abundis* / **ORC ID:** 0000-0002-0750-7432

DOI: 10.35429/H.2020.1.51.68

G. Gaviño, E. Barrios y E. Lopez

*gabygortiz@gmail.com

G. Gaviño & R. Pérez. (AA.VV). Políticas, Casos de estudio, Técnicas de simulación y Programas de competencias en la educación de logística y cadena de suministro en México. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Estado de México. 2020.

Resumen

Este trabajo es de mucha importancia ya que presenta un sistema de enseñanza para favorecer a las Instituciones de Educación Superior en carreras como Logística, Ingeniería industrial, Cadena de suministro, Logística interna y afines, por medio de la comprensión de procedimientos matemático orientado a la simulación. Primero se lleva a cabo el análisis de la realidad a estudiar, es decir, se desea comprender la práctica de la Planificación de requerimientos de material (MRP) y después de analizar cada paso del MRP se presenta un sistema de enseñanza de forma estructurada para el discernimiento de un caso de estudio de planificación de requerimientos de material (MRP) que proporcione un programa de producción y abastecimiento, de acuerdo con los pronósticos de ventas de un Centro de Distribución (CEDIS). Los estándares de producción y los tiempos de entrega de los proveedores, que responden al ¿Qué?, ¿Cuánto? y ¿Cuándo? abastecer. (Velasco Flores, 2017).

Se presenta el MRP que es un conjunto de técnicas que usa los datos de la lista de materiales, datos de inventarios y el plan maestro de producción para calcular los requerimientos de materiales, sugiriendo liberar ordenes de reposición de materiales y reprogramar ordenes abiertas, basadas en el desfaseamiento en el tiempo. Este desfaseamiento empieza con los artículos listados en el Plan Maestro de Producción (MPS) y determina: la cantidad de todos los componentes y materiales requeridos para fabricar dichos artículos y la fecha que se necesitan. El desfaseamiento se completa explotando la lista de materiales, ajustando en el inventario las cantidades ordenadas y/o disponibles, y estableciendo los requerimientos netos desfasados a través del tiempo (APICS, 2019).

El procedimiento matemático MRP I que se presenta en esta investigación está basado en dos aspectos fundamentales:

1. Se refiere a productos terminados
2. Este sistema de enseñanza estructura un procedimiento matemático de acuerdo con las necesidades de cada artículo (demandas independientes y estructura del producto).

Este tipo de investigación es cuantitativa, del tipo positivismo, ya que es una representación de la realidad de un MRP I que se basa en el cálculo de las necesidades netas de los artículos y componentes, introduciendo un factor no considerado en los métodos tradicionales de gestión de stocks, lo que en definitiva conduce a modular el tiempo, con la debida planificación respecto a su utilización y a la comprensión de los estudiantes para posteriormente simularlo en un software que permita percibir el proceso como un sistema real, como podemos percibir.

Sistema de enseñanza, Planificación de requerimientos de material (MRP), Abastecimiento, procedimiento matemático, Simulación

Abstract

This work is of great importance since it presents a teaching system to favor Higher Education Institutions in careers such as Logistics, Industrial Engineering, Supply Chain, Internal logistics and related, through the understanding of mathematical procedures oriented to simulation. First, the analysis of reality to be studied is carried out, that is, you want to understand the practice of Material Requirements Planning (MRP) and after analyzing each step of the MRP, a structured teaching system is presented for the discernment of a material requirements planning (MRP) case study that provides a production and supply program, according to sales forecasts of a Distribution Center (CEDIS). The production standards and the delivery times of the suppliers, which respond to the What? How much? and when? supply. (Velasco Flores, 2017).

The MRP is presented, which is a set of techniques that uses BOM data, inventory data, and the master production plan to calculate material requirements. suggesting releasing material replenishment orders and rescheduling open orders, based on time lag. This phase shift begins with the items listed in the Master Production Plan (MPS) and determines: the quantity of all components and materials required to manufacture those items and the date they are needed. The offset is completed by exploding the bill of materials, adjusting the ordered and / or available quantities in the inventory, and establishing the net requirements out of time over time (APICS, 2019).

The MRP I mathematical procedure presented in this investigation is based on two fundamental aspects:

1. Refers to finished products
2. This teaching system structures a mathematical procedure according to the needs of each article (independent demands and product structure).

This type of research is quantitative, of the positivism type, since it is a representation of the reality of an MRP I that is based on the calculation of the net needs of the articles and components, introducing a factor not considered in traditional management methods. of stocks, which ultimately leads to modulating time, with due planning regarding its use and the understanding of the students to later simulate it in software that allows us to perceive the process as a real system, as we can perceive.

Teaching system, material requirements planning (MRP), Supply, Mathematical procedure, simulation

Introducción

En la última década, el aumento acelerado de la demanda de los bienes y servicios a escala global y la creciente internacionalización de los mercados de materias primas y productos finales, en procesos de manufactura, centros de distribución (CEDIS), que representan maneras diferentes de entender la gestión de inventarios y de producción, presentan un sistema de planificación de requerimientos de material (MRP) que proporciona un programa de producción y abastecimiento, de acuerdo con los pronósticos de ventas de CEDIS. Los estándares de producción y los tiempos de entrega de los proveedores mediante algunas metodologías como: Planificación de los Requerimientos de Materiales (MRP I), Planificación de los Recursos de la Empresa (MRP II) y *Just In Time* o Justo a Tiempo del (JIT). Los sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) incluyen al MRP II y las funciones administrativas de soporte y de servicio.

El inicio de esta tecnología en la administración de la producción y las operaciones es el sistema MRP, el cual se entiende como parte de la evolución de la gestión de materiales, de la empresa y de una nueva tecnología (Delgado & Marín, 2000).

El crecimiento, la complejidad de las organizaciones y la mayor disponibilidad de computadoras en estos años, abren las puertas para el desarrollo de sistemas como el MRP, que posibilitan el manejo de grandes volúmenes de datos interrelacionados a velocidades impresionables, incluso, en la actualidad en tiempo real.

Dentro de las organizaciones existen ciertas condiciones de acuerdo al sector, tipo de empresa y la forma en que utilizan las habilidades, procesos y tecnologías para crear ventajas competitivas en la cadena de suministro, derivado de lo anterior se desarrollan y mantienen competencias, con el propósito de sostener ventajas competitivas de sus organizaciones, buscando contar con especialistas en logística interna que lleven a cabo estrategias, competencias y habilidades esenciales en el manejo de las actividades.

Esta investigación busca contribuir al reto de la Educación Superior de formar profesionales con las habilidades y competencias que exige el mercado laboral en el sector de la logística, ajustando estas necesidades empresariales en especialistas de la logística y cadena de suministro, teniendo en cuenta que los empleadores hoy en día requieren más a profesionales con esta formación (J.V., Exposito Langa, Sempere Castell, & Sempere Castello, 2014).

Adicional a esto, la cadena de suministro que incluye la gestión se ha convertido en una disciplina propia, hasta el punto de liderar los campos en los cuales la ingeniería, la administración de empresas se desarrolla, haciendo inevitable que los profesionales reciban educación en gestión logística, y obtengan un rendimiento académico adecuado en su formación universitaria (J.V., Exposito Langa, Sempere Castell, & Sempere Castello, 2014).

El MRP I, representa una filosofía diferente a los sistemas de demanda independiente tradicionales. Este sistema integra la programación de la producción y el control de los inventarios de materiales.

Se estudia la relación de lo que se quiere producir o ensamblar, de acuerdo a las características de los productos, que se presenta en una lista conocida como BOM (*Bill of Materials*), derivado de lo anterior, el MRP integra la información y presenta los requerimientos de materiales necesarios para cubrir un cierto programa de producción.

Se elabora una distribución de tiempo de acuerdo con las necesidades de los elementos, estableciendo fechas de emisión y entrega de pedidos. La metodología MRP establece un tiempo estándar como un dato fijo, por lo que es importante que este, sea reducido al mínimo, no tiene en cuenta las restricciones de capacidad y se integra por medio de una base de datos que debe ser empleada por las diferentes áreas de la empresa (Velasco Flores, 2017).

El concepto de MRP I es sencillo, se trata de saber que se debe aprovisionar o fabricar, en que cantidad, y en qué momento para cumplir con los compromisos adquiridos. En la vida práctica la gran cantidad de datos que se manejan en forma simultánea y el volumen de cálculos que esto implica, exigen el uso de programas y computadoras para su eficiente manipulación.

En este contexto mencionamos que es necesario favorecer a las Instituciones de Educación Superior por medio de sistemas de enseñanza que se acerquen más a la realidad por medio de modelos matemáticos, que orienten a la simulación.

Objetivos y pregunta de investigación

Pregunta de investigación

¿Cómo elaborar un sistema de enseñanza de planificación de requerimientos de materiales (MRP I) orientado a una simulación?

Objetivo General

Implementar procedimientos matemáticos de un Sistema de Enseñanza de Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP), para alumnos de Escuelas o Instituciones de Educación Superior (ES) orientados a la simulación.

Objetivos Específicos

- Desarrollar una revisión de la literatura académica de los modelos matemáticos diseñados para sistemas MRP.
- Establecer una Metodología de un Procedimiento Matemático, orientado a la simulación mediante un sistema de enseñanza.
- Implementar un modelo de enseñanza-aprendizaje mediante un procedimiento matemático para la aplicación de un MRP para alumnos de ES utilizando un caso de estudio.
- Describir resultados.

Desarrollar una revisión de la literatura académica de los modelos matemáticos diseñados para sistemas MRP

La globalización promueve en las organizaciones la competitividad, obligando a las empresas a salir de un estado de ventajas comparativas a uno de ventajas competitivas. El mercado ha exigido de las organizaciones un conjunto de características que abarcan: eficiencia, eficacia, dinamismo, creatividad, agilidad, flexibilidad y que posean visión holística, que sean competitivas y que tengan sus estrategias definidas, buscando la sustentabilidad del negocio (Breval, Rodriguez & Follmann, 2015).

El proyecto del sistema de logística interna es, por tanto, un aspecto que influye fuertemente en la competitividad del sistema y está, por consiguiente, relacionado con el objetivo de este trabajo, de acuerdo con (Bowersox & Closs, 2001), el ciclo de actividades de apoyo a la manufactura está directamente relacionado a la logística interna, es decir, a la planificación y control de la producción. De esta forma, el apoyo logístico a la producción busca principalmente establecer y mantener un flujo económico y ordenado de materiales, así como enfoques de proceso con la finalidad de cumplir las programaciones del sector de producción.

Planeación de requerimiento de materiales (MRP)

El sistema MRP (Material Requirement Planning o Planificación de las Necesidades de Materiales) es un sistema simple de gestión de la producción gestionado actualmente por sistemas informáticos que proporcionan un programa de producción y aprovisionamiento a partir de tres fuentes de información: el plan maestro de producción, el estado de los inventarios y la estructura de fabricación (lista de materiales y rutas de los productos) (Pérez Mira, 2007).

Este sistema contempla regularmente dos tipos de demanda:

- a. Demanda independiente: La cual es aquella que se genera a partir de decisiones ajenas a la empresa, por ejemplo, la demanda de productos en el sentido de las decisiones de los clientes y algunas piezas de refacción.
- b. Demanda dependiente. Es la que se genera a partir de decisiones tomadas por la propia empresa, se pronostica una demanda de n productos determinando que se deben fabricar de ese producto y sus subproductos p ($p_1, p_2, p_3, p_4 \dots p_i$) dependiente de la decisión tomada por la propia empresa de fabricar n productos.

El MRP es considerado a menudo como un método para coordinar los planes de producción de forma detallada, involucrando uno o varios productos, sub-productos, componentes y/o materiales. Su estructuración se consolida a partir del plan maestro de producción (MPS) de uno o varios productos finales, que se traduce en cantidades conocidas de componentes y tiempos necesarios de producción basado en la explosión o listado de materiales (BOMs) y la información de los tiempos de entrega donde se visualizan varias dificultades como la incertidumbre del tiempo de entrega (*lead time*), disponibilidad de los materiales y la demanda. Un sistema MRP tiene como función principal promover las ordenes de suministro desde los proveedores, de subcontratación y las ordenes de producción con el fin de cumplir los requerimientos de demanda de sistemas de manufactura multi-producto y multi- nivel y multi-periodo.

El MRP se puede clasificar atendiendo varios criterios, uno de los más extensos es el procedimiento de empuje (push), que es, cuando la producción se inicia por la decisión del surtido a fabricar para stock, antes que el cliente exprese su necesidad. El procedimiento de arrastre (*pull*) lo caracteriza la producción que se inicia como consecuencia de los pedidos de los clientes.

Los dos paradigmas que mejor simbolizan los sistemas de empuje o arrastre son el basado en las técnicas asociadas a la Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP) y la filosofía de fabricación Justo a Tiempo (JIT) respectivamente. En este proyecto se busca diseñar un modelo matemático con el fin de obtener soluciones optimas a partir de restricciones de políticas de inventarios, gestión de compras y tamaños de lote, planeación de la producción y demanda, que brindan soluciones específicas en la toma de decisiones de las organizaciones industriales.

Derivado de todo lo anterior el MRP debe consolidar características como planificar componentes que son obligatorios para la producción en un cierto lapso, definir tiempos exactos en el que se deberá programar el siguiente suministro de inventarios de entrada y de salida, considerar el stock de seguridad que se maneje a partir de la producción, permitiendo tomar decisiones de forma eficiente en cualquier momento durante el proceso.

Aunque la mayoría de los sistemas MRP son computarizados, su procedimiento es directo y puede hacerse en forma manual. Los componentes de un sistema de planeación de requerimientos de materiales es un programa maestro de producción, una lista estructurada de materiales, los registros de compras e inventarios, y los tiempos de entrega para cada artículo (Hazer & Render, 2009), que presenta la Figura 4.1 y muestra los distintos componentes de un MRP y los informes generados.

Escudero, Kamesan, King, & Wets (1993), mencionan que otros métodos y modelos existentes son más elaborados como la programación estocástica (PE) y presentan un modelo de PE para el problema del MRP (*Material Requirements Planning*) con incertidumbre en la demanda, además, analizan diferentes enfoques para la planificación de la producción y la capacidad utilizando PE.

Gunther (1996), propone un modelo jerárquico que puede ser incorporado a un MRP II para programar la producción con incertidumbre en la demanda. Para entornos de fabricación bajo pedido caracterizados por requerimientos únicos de productos muy complejos y tiempos de ciclos de producción largos e inciertos (armamento, aeronáutica, etc.),

Hatchuel, Saidi, & Sardas (1997), muestran un nuevo enfoque denominado enfoque de anticipación dinámica basado sobre una descomposición de dos etapas, la planificación y la secuenciación. La etapa de planificación utiliza un enfoque combinado MRP/PERT y la secuenciación es llevada a cabo utilizando una regla dinámica de prioridad.

Se analiza el comportamiento de la demanda en la gestión de la cadena de suministro de dos compañías, una del sector del automóvil y la otra del sector de la electrónica. En ambos entornos, la demanda se comunica a lo largo de la cadena de suministro a través de programas de producción enviados electrónicamente a los proveedores inmediatos, los cuales sufren frecuentes cambios. Wu y Meixell definen tres tipos posibles de amplificación de la demanda. Los resultados analíticos fueron testeados utilizando experimentos Monte Carlo (Wu & Meixell, 1998).

Donselaar, Nieuwenhof, & Vkschers (2000), investigan como la información de la demanda utilizada influye en la estabilidad de la planificación de la cadena de suministro. Para este propósito, configuran un experimento de simulación utilizando información de un fabricante de camiones. El objetivo de la simulación es determinar el funcionamiento de los sistemas MRP y LRP (*Line Requirements Planning*) por medido del nivel de servicio, niveles de inventario y “el nerviosismo” de la planificación.

Los anteriores métodos o modelos que favorecen a la planeación y simulación del MRP llegan a ser abstractos y complejos en la enseñanza-aprendizaje de los estudiantes, es por eso, que proponemos implementar métodos más flexibles, prácticos y comprensibles para el aprendizaje en estas áreas.

El siguiente ejemplo muestra un Modelo de Programación Lineal para Planeación de Requerimiento de Materiales, en la planificación de la producción en una empresa metalmecánica del rubro carrocerero. En donde el modelo se especifica de la siguiente manera: (i) El programa de producción maestro (qué debe hacerse y cuándo), (ii) Las especificaciones o la lista estructurada de materiales necesarios para elaborar el producto, (iii) El inventario que se tiene disponible, (iv) Las órdenes de compra pendientes o recepciones esperadas, (v) Los tiempos de entrega (cuánto tiempo tardan en llegar los distintos componentes).

Figura 4.12 Componentes de un MRP

Fuente: Extraído de la Revista Tecnológico. Modelo de Programación Lineal para Planeación de Requerimiento de Materiales (2015)

Para la formulación del modelo matemático lo fundamental es se definir las variables de decisión, constantes y parámetros del modelo. T representa el conjunto de períodos durante el horizonte de planificación ($t=1...T$), I es el conjunto de productos ($i = 1 \dots I$), J simboliza el conjunto de productos padre en la lista de materiales ($j = 1 \dots J$), x_{it} es la cantidad a producir del producto i en el período t , $INVT_{it}$ constituye el inventario del producto i al final del período t , d_{it} compone la demanda del producto i en el período t , α_{ij} es la cantidad requerida de i para producir una unidad del producto j , TS_i es el tiempo de suministro del producto i , $INVT_{i0}$ representa el inventario del producto i en el período 0, E_i es la exactitud de inventarios = inventario real / inventario teórico y M es un valor muy grande.

Los coeficientes de costo en la función objetivo están representados por cp_i que es el costo de pedir una unidad del producto i , además de H_i que significa el costo de mantener inventario de una unidad del producto i . En la ecuación 1 se presenta la función objetivo que busca minimizar los costos de mantenimiento de inventarios, puesto que estos pueden cambiar como resultado de las decisiones tomadas sobre las cantidades para producir o comprar de determinado (Caceres, V., Vasquez & Garcia, 2015).

Los resultados que se presentan en este modelo de optimización entero y lineal a través de Lingo 10, reflejan que todos los valores de X (valor de cada $(SKU)_i$ en cada período t) para los cuatro periodos planificados para $(SKU)_1$ o producto final , con el modelo aquí presentado MRPDet, presenta un valor que tiene en la planificación de la producción en una empresa metalmecánica del rubro carroceros, debido a que sí se puede lograr disminuir los niveles de inventario hasta 49,7% considerando los inventarios valorados antes y después de la optimización matemática. Realizando eficazmente pedidos de materiales y no basándose en los pronósticos.

Simulación

El término simulación se define como la representación de algún proceso o sistema real a través del tiempo, ya sea hecha manualmente o en una computadora, la simulación involucra la generación de un historial artificial de un sistema y la observación para obtener inferencias relacionadas con las características operativas del sistema real (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2005).

La simulación por computadora se refiere a los métodos para estudiar una gran variedad de modelos de sistemas del mundo real mediante la evolución numérica usando un software diseñado para imitar operaciones o características del sistema, a menudo en el transcurso del tiempo (Kelton, Sadowski & Sturrock, 2008).

La mayoría de los procesos a simular están centrados principalmente en la simulación de eventos discretos (aquellos que cambian en determinados instantes del tiempo) y no todos los sistemas simulados son necesariamente continuos o discretos, sino una combinación de ambos, a lo que algunos autores llaman como modelos híbridos o de cambio continuo-discreto (*Associate Inc. Simulation Modeling and Analysis*, 2007).

Algunos de los softwares más completos de simulación que tienen la capacidad de controlar tanto eventos discretos como continuos en la misma aplicación son: *FlexSim*, *Extend*, *Arena*, y *WITNESS* en animación 3D (Beaverstock, Greenwood, Lavery, & Nordgren, 2012).

En el caso de un MRP, utiliza la simulación de eventos discretos que son el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento del sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado (Garcia, Garcia, & Cardenas, Simulación y análisis de sistemas con ProModel. Segunda edición., 2013).

La simulación de un modelo construido a partir de un modelo real deberá considerar los siguientes elementos:

- Entidad, que se refiere en un sistema MRP y hace referencia a entradas de materia prima y salidas de producto terminado.
- Estado del sistema, es decir, la condición que guarda el sistema bajo estudio en un momento determinado, ejemplo número de piezas que se están fabricando, stock de inventario, y algunas otras características.
- Evento, que se refieren, a cambios del estado actual, por ejemplo, un imprevisto, desabasto, cuello de botella y algunos otros eventos que son cambios que se presentaran durante el MRP después de un tiempo determinado de la simulación.
- Las localizaciones: que son puntos del sistema en los que una pieza puede detenerse para ser transformada o está en espera de serlo, esto es, almacenes, estaciones de inspección, bandas transportadoras, entre otros.
- Recursos: son todos aquellos dispositivos necesarios para llevar a cabo una operación.
- Atributos: que hacen referencias a características del sistema, sirven para diferenciar una entidad de otra.
- Las variables: corresponden a las condiciones cuyos valores se crean y modifican por medio de ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas, dichas variables pueden ser continuas o discretas.
- El reloj de simulación: es el contador de tiempo de la simulación mismo que es útil para generar las estadísticas de la simulación (García, García & Cárdenas (2013).

La importancia de la simulación de un MRP está dada por:

En la simulación de un MRP se puede inferir el efecto de cambios internos y externos del sistema y prever eventos futuros, esto permite un mejor entendimiento de todas las operaciones que están involucradas en el proceso y así poder proponer acciones de mejora haciendo más eficiente al sistema (Carmen & Elena, 2009).

La simulación por computadoras son programas que sostienen modelos de sistemas reales. El comportamiento de estos sistemas se representa mediante cambios en las variables que los describen, en caso de poder representarlos todos, se selecciona una representación de los principales estados del sistema real. La experimentación con las simulaciones se realiza dando entradas al modelo y analizando sus salidas (Ester & Mercedes., 2019).

Establecer una metodología de un *procedimiento matemático para la aplicación de un MRP, orientado a una simulación mediante un sistema de enseñanza*

Procedimiento Matemático de Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP)

La metodología usada en esta investigación es de tipo cuantitativa, basada en datos reales

Se formula a partir de un ejemplo real de MRP, se construye un procedimiento matemático que describen la secuencia de operaciones (para ello es necesario tener bien definidas las variables dentro del sistema, así como sus relaciones lógicas y establecer los datos de entrada).

Es importante definir datos reales para construir el procedimiento, que deberán arrojar los resultados esperados, se establecen las ecuaciones matemáticas de acuerdo con la secuencia de la actividad y se valida por medio de datos históricos, comprobados por medio de un ejemplo real.

Se realiza un análisis e interpretación profunda de los resultados que arrojó el procedimiento y se finaliza con una documentación, para hacer un mejor uso de este y poder utilizarlo en algún otro momento, o proceder al uso de cualquier simulador como ARENA o FLEXIM.

Los datos establecidos son todos los elementos de fabricación de cada una de las referencias que aparecen en el plan maestro de producción y a partir de estos, se genera la explosión de las necesidades del plan de producción, con cada uno de los elementos que han de ser fabricados especificando cantidades y fechas en que deben ser lanzadas las órdenes de fabricación.

Figura 4.13 Elementos del MRP

Fuente: Recuperado de Velasco Flores (2017)

La Descripción de los elementos de la (Figura 4.2) es:

- Órdenes de los clientes: Son los requisitos exactos que ordena un cliente, así como la cantidad de la orden y el tiempo de entrega.
- Pronóstico de la demanda: Tiene base en datos históricos mismos que ayudan a predecir tendencias futuras, ciclos o estacionalidades.
- Plan maestro de la producción (PMP): Planea las cantidades y fechas que deben estar disponibles los inventarios de distribución de la empresa, esto es que productos hay que fabricar y en qué tiempo se debe tener completa la producción.
- Lista de materiales (BOM): Es un explosionado de materiales para conocer las especificaciones de los elementos que componen el conjunto, mostrando las etapas de fabricación y la cantidad de elementos que se requieren para la fabricación del producto final.

- Registro de inventario: Hace referencia a la cantidad de materia prima disponible para el proceso de fabricación.
- Orden de compra: Establece las descripciones de los productos a comprar y sus cantidades.
- Orden de trabajo: Indica los trabajos a realizar de acuerdo con las necesidades de la empresa.

Define todos los materiales faltantes en la producción, así como sus cantidades, mismos que se emiten a la orden de compra.

Implementar un modelo de enseñanza-aprendizaje mediante el procedimiento matemático para la aplicación de un MRP para alumnos de ES utilizando un caso de estudio

En este trabajo se presenta un sistema de enseñanza para Instituciones de Educación Superior en carreras como logística, cadena de suministro, o afines, que por medio de la comprensión de un procedimiento matemático orientado a la simulación, se proceda a un caso de estudio, el cual, presentamos enseguida: “PRODUCTO ESTRELLA, S.A. DE C.V.” con las siguientes características:

Es una empresa que se dedica a la fabricación de su producto estrella A desea saber el MRP para su producción de las siguientes 8 semanas. Se tiene lo siguiente. Para cada elemento A (producto final) se requiere un elemento de B, así mismo para cada unidad de A se requieren 2 unidades de C, análogamente y para el elemento C se necesitan 3 unidades de B y 2 unidades de D, a continuación, se presenta la lista de materiales (Figura 4.3).

Figura 4.14 Lista de materiales (BOM)

Fuente: Caso de estudio “producto estrella” (2020)

El departamento de planeación cumple como siempre con su trabajo y nos proporciona la siguiente información básica para generar el MRP que se necesita.

Tabla 4.1 Tabla maestra de materiales

Elemento	Disponibilidad	Tiem.Esp.Sem	Tamaño del Lote	Recepciones Programadas	Stok de Seguridad
A	75	1	Lote a Lote	50 sem 1	0
B	40	1	500		10
C	50	1	150		0
D	110	2	350	200 sem 2	0

Fuente: Elaboración a partir del caso de estudio (2020)

A partir de la lista de materiales (BOM) y la tabla maestra de materiales, se procede a realizar un sistema de enseñanza por medio de un esquema matemático paso a paso de acuerdo con el caso de estudio inferido.

Se tiene la información de algunos requerimientos en la semana 2, 4, 5, 7 y 8 de una cantidad de 100, 60, 50, 40 y 55 respectivamente. Con la información proporcionada se pudo construir la primera tabla de MRP correspondiente al elemento A.

Con la información proporcionada construir la primera tabla perteneciente al elemento A. En dicha tabla debe contener los rubros de: semana, requerimiento bruto, recepciones programadas, proyección de disponibilidad, requerimientos netos y liberación planificada de pedidos, así como la información correspondiente al elemento A de acuerdo con la tabla maestra de materiales.

Tabla 4.2 Tabla maestra de materiales del elemento A1

Elemento A--Disp:75--TE:1--TL:Lote a Lote--RP:50 S1--SS:0									
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento Bruto			100		60	50		40	55
Recepciones Programadas		50							
Proyeccion de Disponibilidad	75								
Requerimientos Netos									
Liberacion Planificada del pedido									

Fuente: Elaboración propia, a partir del caso de estudio (2020)

1.
- Los requerimientos brutos y recepciones programadas para el elemento A ya están establecidos desde un inicio por lo cual no es necesario calcular.
2.
- Calcular la proyección de disponibilidad mediante la siguiente formula previamente establecida. Sin embargo, la disponibilidad inicial está dada por la tabla maestra de materiales.

$$PD_1 = PD_{n-1} + RP_n - RB_n + LPP_{n-1}$$

(4.1)

PD: Proyección de Disponibilidad
PD_{n-1}: Proyección de Disponibilidad de la semana anterior a la que se está trabajando
RP_n: Recepción Programada a la semana que se está trabajando
LPP_{n-1}: Liberación Planificada de Pedido de la semana anterior a la que se está trabajando

Tabla 4.3 Tabla maestra de materiales del elemento A2

Elemento A--Disp:75--TE:1--TL:Lote a Lote--RP:50 S1--SS:0									
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento Bruto			100		60	50		40	55
Recepciones Programadas		50							
Proyeccion de Disponibilidad	75	125	25	25	0	0	0	0	0
Requerimientos Netos									
Liberacion Planificada del pedido									

Fuente: Elaboración propia a partir del caso de estudio (2020)

Es importante mencionar que valor de LPP depende del tiempo de espera establecido en la tabla maestra de materiales el cual es susceptible de cambiar.

1.
- Calcular los requerimientos netos: Corresponde a las necesidades que se tienen de materia prima faltante para que la proyección de disponibilidad sea igual a 0 de la semana que se está trabajando. Sin embargo, si se maneja stock de seguridad este tendrá que ser sumado al requerimiento neto y entonces la proyección de disponibilidad tendrá que ser igual o mayor al *stock* de seguridad.
2.
- Calcular la liberación planificada del pedido: Corresponde a las necesidades que se tienen de materia prima faltante siempre y cuando el tamaño del lote sea de lote a lote. Sin embargo, si se maneja stock de seguridad este tendrá que ser sumado al requerimiento neto. Se utiliza la siguiente formula.

$$LPP_1 = RN_{n+1}$$

(4.2)

LPP_{n-1} : Liberación Planificada de Pedido
 RN_{n+1} : Requerimientos Netos de la semana siguiente a la que se está trabajando

Nota: El valor de RN puede variar de acuerdo con el tiempo de espera especificado en la tabla maestra de materiales, puede cambiar valores de $n + 1$, a $n + 2$, $n + 3 \dots etc.$

Tabla 4.4 Tabla maestra de materiales del elemento A3

Elemento A--Disp:75--TE:1--TL:Lote a Lote--RP:50 S1--SS:0									
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento Bruto			100		60	50		40	55
Recepciones Programadas		50							
Proyeccion de Disponibilidad	75	125	25	25	-35				
Requerimientos Netos					35				
Liberación Planificada del Pedido				35					

Fuente: Elaboración propia a partir del caso de estudio (2020)

La posición del valor de la liberación planificada del pedido depende de la posición correspondiente a los requerimientos netos y del tiempo de espera, esto es; si el tiempo de espera es de una semana como en la tabla, entonces la liberación planificada del pedido tendrá que ser una semana antes a la semana que tengamos requerimientos brutos.

- 1. Como resultado final perteneciente al elemento A se obtiene lo siguiente:

Tabla 4.5 Tabla final correspondiente al elemento A

Elemento A--Disp:75--TE:1--TL:Lote a Lote--RP:50 S1--SS:0									
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento Bruto			100		60	50		40	55
Recepciones Programadas		50							
Proyeccion de Disponibilidad	75	125	25	25	0	0	0	0	0
Requerimientos Netos					35	50		40	55
Liberación Planificada del Pedido				35	50		40	55	

Fuente: Elaboración a partir del caso de estudio (2020)

- 2. Una vez que se tiene la tabla completa del elemento A proseguimos a construir la correspondiente al elemento C ya que primero se necesita de C para poder realizar la del elemento B de acuerdo con la estructura de la producción (BOM).
- 3. Con la información proporcionada por la tabla maestra de materiales se construye la tabla correspondiente al elemento C.
- 4. Calcular el requerimiento bruto de acuerdo con la fórmula que se construyó a partir de la estructura del producto (BOM)

$$RB_1=2 * LPP_{A1}$$

(4.3)

RB_1 : Requerimiento bruto de la semana 1
 LPP_{A1} : Liberación Planificada de la semana 1 del elemento A

Tabla 4.6 Tabla maestra de materiales del elemento C1

Elemento C--Disp:50--TE:1--TL:150--RP:--SS:0									
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento Bruto		0	0	70	100	0	80	110	0
Recepciones Programadas									
Proyeccion de Disponibilidad	50								
Requerimientos Netos									
Liberación Planificada del Pedido									

Fuente: Elaboración a partir del caso de estudio (2020)

1.
- Para el siguiente rubro correspondiente que es recepciones programadas no tenemos ningún valor asignado, por lo tanto, se quedan en blanco los espacios.
2.
- Posteriormente se calculan los valores de la proyección de disponibilidad de la misma manera y aplicando la misma fórmula del paso 3 pero ahora en la tabla que se está trabajando.
3.
- Calcular los requerimientos netos: Corresponde a las necesidades que se tienen de materia prima faltante para que la proyección de disponibilidad sea igual a 0 de la semana que se está trabajando. Sin embargo, si se maneja stock de seguridad este tendrá que ser sumado al requerimiento neto
4.
- Para el cálculo de la liberación planificada del pedido, tenemos que el tiempo de espera es de igual forma a una semana y un tamaño de lote de 150 unidades entonces cuando se requiera de la liberación planificada de pedidos será de 150 unidades.
5.
- Así es como queda la tabla completa correspondiente al elemento C.

Tabla 4.7 Tabla final correspondiente al elemento C

Elemento C--Disp:50--TE:1--TL:150--RP:--SS:0									
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento Bruto		0	0	70	100	0	80	110	0
Recepciones Programadas									
Proyeccion de Disponibilidad	50	50	50	130	30	30	100	140	140
Requerimientos Netos				20			50	10	
Liberación Planificada del pedido			150			150	150		

Fuente: Elaboración a partir del caso de estudio (2020)

1.
- Luego se puede realizar la tabla correspondiente al elemento B ya que se tiene C con los datos básicos de la tabla maestra de materiales. Calcular el requerimiento bruto de acuerdo a la fórmula que se construyó a partir de la estructura del producto (BOM).

$$RB_1 = 1 * LPP_{A1} + 3LPP_{c1}$$

(4.4)

RB_1 : Requerimiento bruto de la semana 1

LPP_{A1} : Liberación Planificada de la semana 1 del elemento A

LPP_{c1} : Liberación Planificada de la semana 1 del elemento C

Tabla 4.8 Tabla maestra de materiales del elemento B1

Elemento B--Disp:40--TE:1--TL:500--RP:--SS:10									
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento Bruto		0	450	35	50	450	490	55	0
Recepciones Programadas									
Proyeccion de Disponibilidad	40								
Requerimientos Netos									
Liberación Planificada del Pedido									

Fuente: Elaboración a partir del caso de estudio (2020)

- 1. Nuevamente para el elemento B no se tiene recepciones programadas.
- 2. Posteriormente se calculan los valores de la proyección de disponibilidad de la misma manera y aplicando la misma fórmula del paso 3 pero ahora en la tabla que se está trabajando.
- 3. Calcular los requerimientos netos: Corresponde a las necesidades que se tienen de materia prima faltante para que la proyección de disponibilidad sea igual a 0 de la semana que se está trabajando. Sin embargo, si se maneja *stock* de seguridad este tendrá que ser sumado al requerimiento neto, para el elemento B se maneja un *stock* de seguridad de 10 unidades, por lo tanto, estas tendrán que ser sumadas.

Tabla 4.9 Tabla maestra de materiales del elemento B2

Elemento B--Disp:40--TE:1--TL:500--RP:--SS:10									
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	
Requerimiento Bruto	0	450	35	50	450	490	55	0	
Recepciones Programadas									
Proyeccion de Disponibilidad	40	40	-410						
Requerimientos Netos		420							
Liberación Planificada del Pedido									

Fuente: Elaboración a partir del caso de estudio (2020)

- 1. Para el cálculo de la liberación planificada del pedido, tenemos que el tiempo de espera es de igual forma a una semana y un tamaño de lote de 500 unidades entonces cuando se requiera de la liberación planificada de pedidos será de 500 unidades. Así es como queda la tabla final.

Tabla 4.10 Tabla final correspondiente al elemento B

Elemento B--Disp:40--TE:1--TL:500--RP:--SS:10									
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	
Requerimiento Bruto	0	450	35	50	450	490	55	0	
Recepciones Programadas									
Proyeccion de Disponibilidad	40	40	90	55	505	55	65	10	10
Requerimientos Netos		420		5		445			
Liberación Planificada del Pedido	500		500		500				

Fuente: Elaboración a partir del caso de estudio (2020)

- 1. Por último, realizamos la tabla correspondiente al elemento D, empezando con los datos básicos proporcionados por la tabla maestra de materiales. Calcular el requerimiento bruto de acuerdo con la fórmula que se construyó a partir de la estructura del producto (BOM)

$$RB_1 = 2LPP_{c1}$$

(4.5)

RB_1 : Requerimiento bruto de la semana 1
 LPP_{C1} : Liberación Planificada de la semana 1 del elemento C

Tabla 4.11 Tabla maestra de materiales del elemento D1

Elemento D--Disp:110--TE:2--TL:350--RP:200 S2--SS:0									
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	
Requerimiento Bruto	0	300	0	0	300	300	0	0	
Recepciones Programadas									
Proyeccion de Disponibilidad	110								
Requerimientos Netos									
Liberación Planificada del Pedido									

Fuente: Elaboración a partir del caso de estudio (2020)

1.
- Se puede observar que el elemento D si tiene una recepción programada de 200 unidades en la semana 2, entonces se coloca en nuestra tabla.
2.
- Para calcular la proyección de disponibilidad para este elemento podemos notar que se tiene una pequeña variante ya que el tiempo de espera ahora es de dos semanas entonces por lo tanto en la formula inicial solo cambia la posición de LPP, quedando de la siguiente forma.

$$PD_1 = PD_{n-1} + RP_n - RB_n + LPP_{n-2}$$

(4.6)

PD: Proyección de Disponibilidad

PD_{n-1} : Proyección de Disponibilidad de la semana anterior a la que se está trabajando

RP_n : Recepción Programada a la semana que se está trabajando

LPP_{n-2} : Liberación Planificada de Pedido de dos semanas anteriores a la que se está trabajando

n: Valor actual de la semana que se está trabajando

Tabla 4.12 Tabla maestra de materiales del elemento D2

Elemento D--Disp:110--TE:2--TL:350--RP:200 S2--SS:0									
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento Bruto		0	300	0	0	300	300	0	0
Recepciones Programadas			200						
Proyeccion de Disponibilidad	110	110	10	10	10	-290			
Requerimientos Netos									
Liberación Planificada del Pedido									

Fuente: Elaboración a partir del caso de estudio (2020)

- 1)
- Calcular los requerimientos netos: Corresponde a las necesidades que se tienen de materia prima faltante para que la proyección de disponibilidad sea igual a 0 de la semana que se está trabajando. Sin embargo, si se maneja *stock* de seguridad este tendrá que ser sumado al requerimiento neto.
- 2)
- Para el cálculo de la liberación planificada del pedido, tenemos que el tiempo de espera es de dos semanas y un tamaño de lote de 350 unidades entonces cada vez que se requiera de la liberación planificada de pedidos será de 350 unidades. Así es como queda la tabla final.

Tabla 4.13 Tabla final correspondiente al elemento D

Elemento D--Disp:110--TE:2--TL:350--RP:200 S2--SS:0									
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento Bruto		0	300	0	0	300	300	0	0
Recepciones Programadas			200						
Proyeccion de Disponibilidad	110	110	10	10	10	60	110	110	110
Requerimientos Netos						290	240		
Liberación Planificada del Pedido				350	350				

Fuente: Elaboración a partir del caso de estudio (2020)

3.
- Al finalizar las tablas de cada uno de los elementos se realiza un concentrado de la información resultando el MRP.

Tabla 4.14 Tabla MRP del producto terminado

Elemento A--Disp:75--TE:1--TL:Lote a Lote--RP:50 S1--SS:0								
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento Bruto		100		60	50		40	55
Recepciones Programadas	50							
Proyeccion de Disponibilidad	75	125	25	25	0	0	0	0
Requerimientos Netos				35	50		40	55
Liberación Planificada del Pedido			35	50		40	55	
Elemento C--Disp:50--TE:1--TL:150--RP:--SS:0								
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento Bruto	0	0	70	100	0	80	110	0
Recepciones Programadas								
Proyeccion de Disponibilidad	50	50	50	130	30	30	100	140
Requerimientos Netos			20			50	10	
Liberación Planificada del pedido		150			150	150		
Elemento B--Disp:40--TE:1--TL:500--RP:--SS:10								
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento Bruto	0	450	35	50	450	490	55	0
Recepciones Programadas								
Proyeccion de Disponibilidad	40	40	90	55	505	55	65	10
Requerimientos Netos		420		5		445		
Liberación Planificada del Pedido	500		500		500			
Elemento D--Disp:110--TE:2--TL:350--RP:200 S2--SS:0								
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento Bruto	0	300	0	0	300	300	0	0
Recepciones Programadas		200						
Proyeccion de Disponibilidad	110	110	10	10	10	60	110	110
Requerimientos Netos					290	240		
Liberación Planificada del Pedido			350	350				

Fuente: Elaboración a partir del caso de estudio 2020

Describir resultados

El resultado del esquema matemático permite presentar y concebir un MRP considerando todas sus fases, paso a paso para poder presentar y coordinar los planes de producción de forma detallada, involucrando uno o varios productos, subproductos, componentes y/o materiales, su estructura, se ve consolida a partir del plan maestro de producción (MPS) de uno o varios productos finales, que se traduce en cantidades conocidas de componentes y tiempos necesarios de producción basado en la explosión o listado de materiales (BOMs), proporcionando la información de los tiempos de entrega, disponibilidad de los materiales y la demanda, resultando como función principal promover las ordenes de suministro desde los proveedores, de subcontratación y las ordenes de producción con el fin de cumplir los requerimientos de demanda en todos sus niveles.

Después de establecer y comprender cada uno de los pasos de un MRP, ahora si, estamos listos para realizar la simulación, implementando de una manera más sencilla la formulación del modelo y establecer datos reales e implementar el modelo en un software. Cómo sabemos en este capítulo del libro, únicamente se establece el procedimiento matemático, mediante un sistema de enseñanza de planificación de requerimientos de materiales (MRP) orientado a la simulación, por lo que a continuación se proponen algunos puntos para cuando se implemente la simulación.

La Formulación de un modelo MRP: A partir de que se establecen los resultados que se desean obtener del estudio se define y se construye el modelo con el que se esperan obtener los resultados deseados. No obstante, es necesario tener bien definidas las variables dentro del sistema, así como sus relaciones lógicas.

Se establecen los datos: Es importancia definir los datos necesarios para construir el modelo, mismo que deberá arrojar los resultados esperados.

El procedimiento deberá estar listo para Implementación del modelo en computadora: En este paso se define un software óptimo para llevar a cabo la simulación, utilizando el presente procedimiento matemático.

Validación: Durante el proceso de validación es posible que se pueda encontrar ineficiencias en la formulación del modelo o en los datos que alimentan el modelo. Unas de las formas para validar el modelo pueden ser la comprobación de falla del modelo al utilizar datos que hacen fallar al sistema real.

Experimentación: Se prosigue a arrancar el modelo de simulación una vez que este se validó y generar los resultados deseados.

Interpretación: Se realiza un análisis e interpretación profunda de los resultados que arrojó el modelo al término de la simulación, este análisis es de gran importancia para la toma de decisiones con respecto a la gestión de inventarios para el caso de un MRP.

Documentación: Se requiere en todo momento elaborar la documentación de tipo técnico y otra de tipo manual de usuario para hacer un mejor uso del modelo y poder utilizarlo en algún otro momento.

Figura 4.4 Logística del plan de requerimiento de materiales, 2019

Fuente: Elaboración a partir del caso de estudio 2020

Referencias

APICS. (22 de diciembre de 2019). [apics.org.mx/](https://www.apics.org.mx/). Obtenido de www.apics.org.mx/

Associate Inc. Simulation Modeling and Analysis. (2007). Simulation Modeling. En L. Averill M., Simulation Modeling (págs. 1-273).

Banks , J., Carson, J., Nelson, B., & Nicol, D. (2005). Discrete-Event System Simulation. USA: 4a Ed. Pretince-Hall.

Beaverstock, M., Greenwood, A., Lavery, E., & Nordgren, W. (2012). Applied Simulation Modeling and Analysis using FlexSim 3a ed. USA: Orem.

Bowersox, D., & Closs, D. (2001). Proceso integrado de cadena de suministrp. Sao Paulo Atlas S.A.

Breval, S. B., Rodriguez , C. M., & Follmann, N. (2015). Evaluación de la Logística Interna a través de sus partes componentes. <https://www.researchgate.net/publication/285420258>, 24-30.

Caceres , D., V, Vasquez, J., & Garcia, M. (2015). Modelos de Programación Lineak para Planeación de Requerimiento de Materiales. Revista Tecnológica ESPOL-RTE, Vol 28., 24-33.

- Carmen, B. F., & Elena, G. U. (2009). Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación. Universidad Pontificia de Comillas, 1-3.
- Delgado, J., & Marin, F. (2000.). Evolución en los Sistemas de Gestión Empresarial del MRP al ERP. Economía Industrial, No. 331, pp. 51-58.
- Donselaar, K., Nieuwenhof, J., & Vkschers, J. (2000). The impact of material coordination concepts on planning stability chains. International Journal of Production Economics, 169-176.
- Escudero, L., Kamesan, P., King, A., & Wets, R. (1993). Production Planning via Scenario Modeling. Annals of Operations Research, 311-335.
- Ester, R. C., & Mercedes., R. Q. (2019). La simulación computarizada como herramienta didáctica de amplias posibilidades, 4-7.
- García , D. E., García , R. H., & Cardenas, B. L. (2013). Simulación y análisis de sistemas con ProModel. Segunda edición. México: PEARSON.
- Gunther, Z. (1996). Prodcution Planning in the case of Uncertain Individual Demand. Extensión for an MRP. International Journalconomics of Production E, 46-47.
- Hatchuel, Saidi, K. D., & Sardas, J. (1997). Towards a new planning and scheduling approach for multistage production systems. IInternational Jopurnal of Production Research, 35, 867-886.
- Hazer, J., & Render, B. (2009). "Planeación de requerimientos de materiales (MRP) y ERP," in Principios de Administración de Operaciones México. Administración de Operaciones, 565-568.
- J.V., T., Exposito Langa, M., Sempere Castell, & Sampere Castello, S. (2014). Determinantes del rendimiento académico en los estudiantes de grado. Revista de Investigación Educativa, 379-392.
- Kelton, D., Sadowski, R., & Sturrock, D. (2008). Simulación con Software Arena . 4 ed. MacGrawHill.
- Pérez Mira, D. (2007). Gestión de Operaciones. s.c: Escuela de Negocios.
- Velasco Flores, J. L. (2017). Logística industrial aplicada. Buenos Aires, Bogota: Alfaomega.
- Wu, S., & Meixell, M. (1998). Relating Demand Behavior and Production Policies in the Manufacturing Supply Chain. IMSE Technical Report, 98T.007.