

[193007] Diseño de herramienta basada en un modelo MRP para la ayuda en la toma de decisiones en la gestión de inventarios de una empresa de productos naturales para el cuidado personal

Danna Gabriela Holguín Gómez^{a,c}, Angélica María Nieto Abril^{a,c}, Daniela Ruiz Valencia^{a,c}, María Angélica Zamora Castro^{a,c}
Sebastián Alberto Peláez Gómez^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Trabajo de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Resumen de diseño en Ingeniería

Small and Medium Enterprises (SME) in Colombia have major challenges and may face some drawbacks such as uncontrolled inventories, lack of financing, deficiencies in information management, among others. Taking this into account, it's quite relevant to address some of these improvement opportunities applied to a company in the category mentioned before. This company, which belongs to the cosmetics and toiletries sector, has 20 years of experience in the market and has become a leader in Colombia and South America in the manufacture of high-quality natural products.

In the present degree work, a tool developed in Excel, based on an MRP (Material Requirements Planning) model was designed to help in the decision-making regarding inventory supply and management in the company referenced before. In particular, this company presents some issues related to the ones already presented, such as that the decisions regarding the quantities to be produced are made based on previous experience (intuitively) and, likewise, the planning of supplies and raw material requirements is made according to previous orders.

In this way, the MRP model will allow the company to identify different elements that are key to a better management of the supplies, such as the identification of the net requirements in the production orders of the references managed. Furthermore, it will help to make decisions based on quantitative methods and reliable information. It is important to mention that the designed tool presented in this degree work is a pilot implementation, since only 13 products were included out of the total produced by the company.

Referring to the stages for the development of the tool, first of all, the necessary information from the company was collected and the 13 products to be analyzed were selected using graphic classification techniques. Secondly, the demand forecasts were calculated, which were compared under the MAPE (Mean Absolute Percentage Error) indicator, and the forecast model that was most suitable for each product was selected. Additionally, an evaluation of the performance of the forecasts obtained was made by comparing them with the Naive model.

Once the demand of the products was determined, the planning of purchasing raw materials and packaging materials was developed. For this, the gross requirements, Bill of Materials, initial inventory, scheduled receipts and the costs of acquiring each product, maintaining inventory and the fixed cost of placing an order were taken into account. In this way, the updated inventory, the selected suppliers, the batch size to order and the total costs of the policy were obtained, all according to the inventory policy denominated *Lot for Lot*, which met the company's requirements.

In the last stage of the degree work, the designed tool was implemented and evaluated in the company. For this, the performance of the tool was determined under the inventory turnover indicator, which allows the company to know how many times the inventory in the warehouse has been renewed in a period of time. In addition, a virtual meeting was held with the general manager, purchasing and production managers and the accounting team of the company, in which the tool

and the user manual were presented. Finally, some of the members of the company who will be using the tool in the future evaluated its performance.

Regarding the obtained results, the precision of the forecast methods from the 13 products selected in total corresponds to approximately 92% of the products, which means that the forecast methods estimated by the tool that was presented to the company are accurate. Also, based on the forecasts that were estimated for the period corresponding to the first week of November from 2019, generated a cost of applying the *Lot for Lot* policy for the 13 products of \$128,464,967 and the amount for total sales income is \$210,467,066.

Addressing the design restrictions, one of the most important of them is that it was not possible to analyze the service level indicators type I and type II, since the company does not have the information on missing products. Also, regarding the demand forecasts, the historic sales from January 2017 to November 2019 were taken into account. It was not possible to collect the information from December 2019 and the first semester of 2020 due to the global pandemic (COVID-19), which limited visits to the company and at the same time, affected sales and production behaviours.

It is important to highlight that in terms of the standards that measure the quality of the software product, the tool complies with the international standard ISO-25010, which has the following characteristics: functional adequacy, performance efficiency, compatibility, usability, reliability, security, maintainability and portability.

[Annex 1](#) presents the tool based on an MRP model for the company in question. This tool will help the company to reinforce the Master Production Schedule and the Material Requirements Planning, two very important stages for production planning. The image below shows the main menu of it.

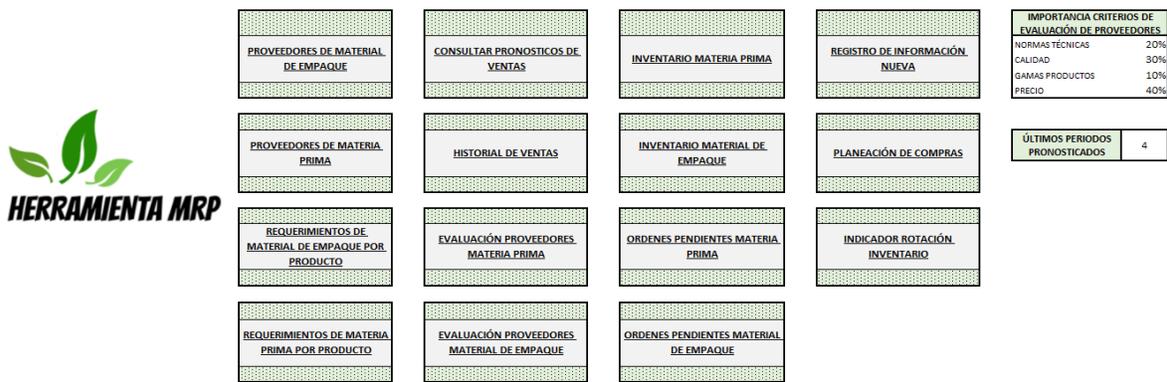


Image 1. Main menu of the designed tool. (Source: The authors)

1. Justificación y planteamiento del problema

El sector de cosméticos y productos de aseo en el país está conformado por tres subsectores: absorbentes, aseo del hogar y cosméticos, siendo la producción de este último la más representativa para el año 2016 con un porcentaje del 58,6% [1]. Para el año 2017, Colombia se ubica como la cuarta economía y el cuarto mercado más grande en América Latina, detrás de Brasil, México y Argentina [2]. En lo que respecta al comportamiento de los productos de cosméticos en el mercado desde el año 2014 hasta el año 2017, se ha evidenciado un aumento porcentual significativo de aproximadamente el 23,7% [2].

De igual manera, según la visión del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y la Asociación de Empresarios de Colombia (ANDI), el mercado nacional en el año 2032 “será reconocido como líder mundial en producción y exportación de cosméticos [...] de alta calidad con base en ingredientes naturales” [1]. Teniendo en cuenta el potencial que tiene este sector de la industria para desarrollarse a futuro y según las proyecciones realizadas sobre el tema, resulta de gran importancia canalizar esfuerzos para mejorar la eficiencia

de los procesos requeridos para la manufactura de los productos de este sector especialmente en pequeñas y medianas empresas.

Las empresas inmersas en el proyecto de crecimiento y sostenibilidad del subsector de cosméticos en el país, específicamente las PYMES, poseen grandes retos. Entre ellos se encuentran: el descontrol de inventarios, falta de financiamiento adecuado y oportuno, deficiencias en controles de calidad, en técnicas de producción y gestión de la información [3]. Para superar retos como estos, es necesario que los procesos a realizar se analicen desde su origen (la recepción de los insumos) hasta la entrega del producto terminado al cliente final. Las materias primas e insumos, al ser puntos claves de diferenciación en el mercado competitivo, requieren de una serie de estrategias y herramientas que les permitan a los directivos de las industrias tomar decisiones adecuadas con respecto a la debida planeación y control de abastecimiento de los recursos de manufactura.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el presente trabajo de grado se selecciona una PYME del sector de productos cosméticos, para la cual se realiza un diagnóstico y análisis por medio de una matriz DOFA (Debilidades - Oportunidades - Fortalezas - Amenazas) cuantificada y construida en conjunto con la empresa. A través de esta fue posible identificar cuáles oportunidades de mejora se evidencian y, además, justificar qué herramientas dentro de la ingeniería industrial se pueden emplear para darle solución a las mismas. Esta matriz se construyó asignando una ponderación según la importancia relativa para la empresa de cada uno de los aspectos, asimismo, determinando el impacto que cada factor tiene en la organización [4].

A partir de lo anterior, se pudo evidenciar que, para la empresa en cuestión, el hecho de tener clientes insatisfechos por incumplimiento en entrega de pedidos se consideró como una debilidad de alto impacto para la organización, con una ponderación asignada por la misma de 9 puntos sobre 10 posibles. El valor resultante es el más alto de entre las tres debilidades identificadas y manifestadas por la empresa.

Según los resultados de la matriz DOFA cuantificada, cuyo desarrollo detallado se encuentra en el [Anexo 2](#) - Hoja 1, se procedió a realizar una encuesta a clientes para evaluar el nivel de servicio desde diferentes aspectos y determinar cuáles son los puntos claves a mejorar, que en realidad serían las consecuencias de las barreras que la empresa debe afrontar y por ende será la problemática que se abordaría desde el presente trabajo de grado. La selección de los clientes para responder dicha encuesta se realizó por medio del método Pareto, cuyo desarrollo y resultados se pueden observar en el [Anexo 2](#) - Hoja 2. Por medio de este método, se identificaron los clientes más representativos en cuanto a ventas (el 20% de los clientes totales, que representan el 80% de las ventas). Finalmente, se seleccionaron 7 clientes del total que maneja la empresa y sus respectivas encuestas se encuentran en el [Anexo 3](#) (Páginas 1 - 7).

A su vez, lo identificado por medio de la matriz DOFA cuantificada se corroboró con las encuestas realizadas a los clientes para los cuales, a destacar, se evidenció que aproximadamente solo el 29% de los clientes seleccionados están de acuerdo con la afirmación: hay disponibilidad para la venta y despacho de los productos que el cliente solicita. Además, más del 55% de los mismos no están de acuerdo con la afirmación de que los productos se entregan en el plazo de entrega acordado previamente entre la empresa y el cliente.

Por lo anterior, se considera que el diseño de estrategias y herramientas para la toma de decisiones en la compra y manejo de insumos es un tema de gran relevancia. Las empresas se ven obligadas cada vez más a establecer capacidades de respuesta a diferentes factores tanto externos como internos de la organización. Asimismo, es indispensable un acercamiento al diseño e implementación de mejores métodos y herramientas de gestión que sean capaces de manejar un número considerable de alternativas que repercutan a la hora de tomar una decisión, ya sea de compra o de venta [5].

Con el fin de atender a la necesidad de implementar dichas herramientas, es pertinente tener en cuenta los diferentes sistemas de información empresariales existentes. Los Sistemas de Información Empresarial (EIS) se pueden definir como "sistemas de software para la gestión empresarial, que abarcan módulos que soportan áreas funcionales de la organización como planificación, fabricación, ventas, distribución, gestión de proyectos, gestión de inventarios, transporte, entre otros" [6]. Uno de los usos de estos sistemas es la planificación de materiales e insumos para la producción, específicamente la Planificación de Requerimientos de Materiales, o *Material Requirements Planning* (MRP), por sus siglas en inglés. Dicho modelo atiende las necesidades de una planeación adecuada del suministro de materias primas e insumos, el cual resulta pertinente para el presente trabajo de grado, ya que permite identificar, a partir de una explosión de materiales BOM (o *Bill of Materials*, por sus siglas en inglés) [7], los requerimientos netos en las órdenes de producción de cada una de las referencias manejadas por las compañías.

Teniendo en cuenta lo anterior, se identifica la necesidad de planear adecuadamente los materiales requeridos para la producción en una PYME, cuya actividad económica pertenece al sector cosmético y de productos de aseo personal. Por lo cual, el enfoque del presente trabajo de grado es el desarrollo de una herramienta basada en un modelo MRP, con el fin de facilitar la toma de decisiones en el proceso de abastecimiento de materias primas e insumos, por medio de una prueba piloto en la empresa mencionada para la implementación del modelo de planeación y así analizar los resultados pertinentes.

2. Antecedentes

El manejo de inventarios es una variable clave en los procesos productivos cuyas funciones inciden en la operación de las empresas, como, por ejemplo, asegurar cierto número de unidades en bodega que resguardan los pedidos ante la inseguridad de los procesos de compra y la variabilidad en la demanda [5]. De manera que es importante conocer la gestión de inventario respondiendo tres preguntas fundamentales:

1. ¿Cuánto pedir?
2. ¿Cuándo hacer un pedido?
3. ¿Qué sistema de control de inventario usar? [5]

Para que un sistema de fabricación funcione de manera efectiva, la relación entre la planificación y el control de la producción deben permanecer sincronizadas con el fin de generar la liberación de órdenes de pedido manteniendo un balance entre la oferta y la demanda [6]. La planeación de las órdenes de compra debe tener en cuenta los parámetros de número de clientes a los que se debe atender y sus respectivas demandas. Por lo tanto, la primera parte de la revisión literaria gira en torno al pronóstico de la demanda, con la finalidad de dar respuesta a las dos primeras preguntas presentadas anteriormente, como parte fundamental de la gestión del inventario.

Sin embargo, antes de estimar los pronósticos de demanda es importante contar con la revisión literaria respecto a los casos en los que es necesaria una corrección de datos atípicos. Según el desarrollador de software Minitab Inc., dedicado al diseño de programas para ejecutar funciones estadísticas avanzadas, se puede considerar un valor atípico como una observación grande o pequeña que genera un efecto desproporcionado en los resultados estadísticos y conduce a interpretaciones engañosas [8].

Algunas causas de los valores atípicos son: error de entrada de datos, problema de proceso, factor faltante y probabilidad aleatoria. Para las anteriores causas, se plantean algunas acciones para corregir errores, tales como: corregir el error y volver a analizar los datos; investigar el proceso para determinar la causa del valor atípico; determinar si no se consideró un factor que afecta del proceso; investigar el proceso y el valor atípico para

determinar si este se produjo en virtud de las probabilidades. Para este último, se debe realizar el análisis con y sin el valor atípico para observar su impacto en los resultados.

De las posibles soluciones se encuentra la corrección de los datos, la cual se puede realizar mediante una suavización de los mismos. Para determinar los datos que se consideran como atípicos se manejan unos referentes correspondientes a cuartiles, donde se ubican los datos. En la **Imagen 2**, se observa la forma en la cual se calculan los límites o vallas internas como externas, así como las inferiores y superiores de las mismas.

$$\begin{aligned} \text{Valla Interna Inferior} &= Q_1 - 1.5 d_Q \\ \text{Valla Interna Superior} &= Q_3 + 1.5 d_Q \\ \text{Valla Externa Inferior} &= Q_1 - 3 d_Q \\ \text{Valla Externa Superior} &= Q_3 + 3 d_Q \end{aligned}$$

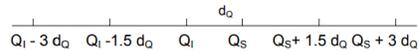


Imagen 2. Identificación de valores atípicos. (Fuente: Universidad de Buenos Aires [9])

Una vez corregidos los datos atípicos, se prosigue a estimar los pronósticos de demanda. Según los autores Heizer & Render, existen dos enfoques generales para pronosticar, de la misma manera que hay dos formas de abordar todos los modelos de decisión: el cualitativo y cuantitativo. Los pronósticos cualitativos son subjetivos, es decir, incorporan factores como la intuición o las experiencias personales, y este es precisamente el método que utiliza la empresa en cuestión para pronosticar su demanda. En cambio, el enfoque cuantitativo (que será utilizado para desarrollar el modelo MRP), incorpora una variedad de modelos matemáticos que se apoyan en datos históricos y/o en variables causales para pronosticar la demanda [10].

Con respecto a algunas investigaciones de este último enfoque, en un estudio realizado en 2019 en China, los autores Zhu, Zhao, Zhang, Geng & Huang utilizaron los siguientes modelos para el pronóstico de demanda: Modelo Autorregresivo Integrado de Media Móvil (ARIMA) o Box-Jenkins, Holt-Winters y máquinas de vectores de soporte (SVM). Después de analizar los tres modelos anteriores, la mejor solución fue un modelo híbrido entre Holt-Winters y SVM, dado que algunas variables como las ventas pueden ser influenciadas por uno o más factores dinámicos. Como los modelos basados en estadísticas sólo usan datos históricos, sus resultados reflejan la linealidad y las tendencias estacionales [11]. El modelo híbrido obtuvo las más bajas mediciones de error MAPE (Mean Absolute Percentage Error), MAE (Mean Absolute Error) y MSE (Mean Squared Error) comparándolo con ARIMA, y Holt-Winters individual.

Por otro lado, Tiacci & Saetta proponen el método de promedio móvil centrado o CMA (por sus siglas en inglés) y el valor máximo centrado o CMV. Estos modelos de pronóstico de demanda sólo necesitan datos de un año para ser utilizados. Sin embargo, ambos consideran un patrón de demanda estacional esperado con un período de tres meses. Al ejecutar el modelo por medio de métodos matemáticos y analizar los errores MAD (Mean Absolute Derivation) y MAPE, CMA proporcionó pronósticos más precisos que CMV [12].

Ahora bien, una vez analizado el comportamiento de la demanda y su respectiva proyección, ya se puede dar respuesta a la tercera pregunta: ¿qué sistema de control de inventario usar? Existen varios métodos que permiten realizar de manera estratégica una planeación adecuada para la compra de materiales e insumos necesarios para llevar a cabo el proceso de producción. Considerando lo anterior, el modelo de planeación que mejor se ajusta para la empresa de productos naturales para el cuidado personal, es la Planificación de Requerimientos de Materiales, ya que se considera una de las técnicas más utilizadas de planificación y gestión de inventarios en la actualidad, fundamentada en modelos matemáticos que parten de una demanda conocida [13]. La segunda parte de la revisión literaria presentará algunos casos donde se ha aplicado este modelo. Ver [Anexo 4](#).

Las *PYMES*, al tener recursos financieros limitados, corren el riesgo particular de sufrir las consecuencias de implementar enfoques inapropiados o basados en la experiencia. Teniendo en cuenta esto, se han propuesto mejoras en el sector cosmético por medio de la implementación de sistemas MRP, en Laboratorios Lissia, empresa colombiana, la cual presentó la problemática que, del promedio de ventas mensuales, el 1% al 3% de productos, no eran despachados por faltantes de materias primas, empaques y/o material impreso, esto debido a la falta de comunicación e interacción de áreas que están inmersas en la cadena de suministros de la empresa [14].

De igual manera, se tiene en cuenta que no hay un sistema de información interno capaz de facilitar los debidos procesos que deben ejecutarse al interior de la empresa. Dentro de esta problemática se evidencia que el área más afectada es la de compras, esto debido a que la planeación de inventarios se controla manualmente, y no se tiene un seguimiento exhaustivo para poder llegar a pronosticar la demanda. Esto conduce a una deficiente planificación de los materiales, por lo cual, mediante este trabajo se propone mejorar la comunicación efectiva dentro de la empresa aplicando un sistema de MRP, enfocado en realizar investigaciones cualitativas para analizar su alcance dentro de esta, logrando mejorar dicho aspecto en un 85% [14].

Por otra parte, se presenta el caso de una empresa manufacturera de muebles en Lituania, donde la planeación de requerimientos de materiales es fundamental, ya que garantiza que los materiales se encuentren disponibles para la producción, disminuye los costos de inventario y permite realizar una proyección de las operaciones necesarias de fabricación, cronogramas de entrega y actividades de compra [15]. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la implementación de sistemas informáticos especializados para desarrollar la adecuada planeación dentro de una empresa mediana depende de sus restricciones económicas. Por ello, el trabajo de grado desarrollado para solucionar la problemática se enfocó en un análisis detallado de las estructuras de la base de datos de la compañía, contemplando las necesidades de los clientes, definiendo los datos variables y constantes de las órdenes de producción, además de la consideración de los sistemas y subsistemas computarizados existentes dentro de la compañía.

Al momento de realizar la observación de los procedimientos productivos de la empresa, se identificó que la mayor parte del tiempo se invierte en la preparación de la documentación de las órdenes de fabricación, que indica el cálculo de la cantidad de materiales consumidos, esto se debe a que, para ese momento, no presentaban sistemas estandarizados y computarizados que otorgaran eficiencia a los procesos. Después de analizar la información manejada en cada uno de los procesos de fabricación, se realizó una estructura de datos integrada que tenía en cuenta las órdenes “semillas” de los productos, como información común que permite la preparación inicial y general de la base de datos y con la posibilidad de agregar los materiales que tengan variación según las especificaciones de los clientes. Finalmente, se concluye que la implementación de la reestructuración de la base de datos de los requerimientos de materiales necesarios para llevar a cabo una orden de producción dividida, dentro de una explosión de materiales constantes y variables, proporciona un aumento en la eficiencia del uso de recursos y una mayor velocidad en la preparación de los documentos para la fabricación. [15]

Analizando otro caso de estudio realizado por estudiantes de la facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres de Perú, en la empresa Total World Corporation (TWC), se realiza una aplicación del sistema de planificación MRP con el fin de mejorar la productividad de la misma. En este, se evidencian algunas falencias por parte de la empresa TWC en el proceso de embotellado de alcohol etílico (el producto más representativo para la empresa), debido a que no cuentan con un sistema de planificación de la producción ni con los materiales necesarios en el momento correcto, lo que ha llevado al incumplimiento con el tiempo de los pedidos. [16]

Para la implementación de este sistema se parte de la hipótesis: La aplicación del Sistema de Planificación MRP, mejorará la productividad de los recursos de mano de obra y materiales en la Empresa TOTAL WORLD CORPORATION SAC. Para esto, se realizó la identificación de variables de la investigación, indicadores, proceso de levantamiento de datos y todos los análisis pertinentes relacionados con los pronósticos de ventas, procesos y estado actual de la empresa. Al realizar la implementación del MRP, se redujeron los días de retraso en las entregas en promedio de 5 días a 2 días, además, la eficiencia en el cumplimiento de los pedidos que manejaba la empresa antes de la propuesta e implementación era en promedio de 89,5%, la cual aumentó a un 94,6% [16]. En general, se puede decir que el aprovechamiento o mejor uso de los recursos de la empresa influye de manera favorable en la productividad.

3. Objetivos

Diseñar una herramienta basada en un modelo MRP para facilitar la toma de decisiones en el proceso de abastecimiento de materias primas e insumos de una empresa de productos naturales para el cuidado personal.

1. Identificar las variables a tener en cuenta para realizar el modelamiento MRP de una empresa de productos naturales para el cuidado personal.
2. Definir y aplicar el modelo de pronóstico que más se adecue al comportamiento de la demanda de la empresa.
3. Desarrollar un modelo de gestión de inventarios basado en algoritmos y modelamiento lineal para la planeación y gestión de materiales de la empresa.
4. Implementar y evaluar la herramienta del modelo MRP diseñado para la empresa de productos naturales para el cuidado personal.

4. Desarrollo de la metodología

Con el fin de llevar a cabo el proceso de diseño de la herramienta basada en un modelo MRP, se implementó la metodología conocida como método en cascada, la cual permite desarrollar actividades de una forma ordenada y secuencial. La **Imagen 3** muestra la manera en la que se aplicó dicha metodología contemplando los cuatro objetivos específicos del presente trabajo de grado.



Imagen 3. Metodología del diseño del trabajo de grado basado en el modelo de cascada (Adaptado de: Buitrago Caballero, A., 2018)

En primer lugar, para la etapa de *análisis*, se trabajó en conjunto con la organización para identificar las entradas y variables necesarias para realizar el modelamiento MRP. Por una parte, se seleccionaron los productos cuya rotación y utilidades fueran las más significativas para la empresa. Para esto, se llevó a cabo la recolección de esta información por medio de visitas a la empresa, obteniendo datos tales como: cantidad de productos, ingresos semanales para los períodos de 2017, 2018 y 2019, la lista de materiales (materias primas y material de empaque) de los productos escogidos, información correspondiente a proveedores, entre otros. En esta etapa de la metodología se realizan las actividades correspondientes para así dar cumplimiento al **objetivo 1** y se obtiene la información necesaria para el desarrollo del **objetivo 2**.

En la etapa de *diseño*, se observó el comportamiento de la demanda correspondiente a los productos previamente seleccionados con el fin de determinar el modelo de pronóstico que mejor se ajuste teniendo en

cuenta el comportamiento de la demanda histórica y el MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio). Al culminar el desarrollo del **objetivo 2**, se obtuvo el modelo de pronóstico más preciso para cada producto según el comportamiento de la demanda de la empresa. Asimismo, se obtiene la elaboración de un pronóstico estimado para un horizonte de tiempo determinado, que, por requerimiento de la empresa, se determinó que fuera en semanas.

En cuanto al **objetivo 3**, se desarrolló con mayor profundidad la etapa de *diseño* ya que con la información previamente recolectada y organizada, se crea la base de datos de la empresa de tal manera que sea práctica y conveniente para la manipulación de la herramienta. Teniendo en cuenta que el modelo de gestión de inventarios está basado en un MRP, las entradas a considerar para este modelo son: inventario inicial, requerimientos brutos, costos fijos de pedido, costos variables de adquisición y costos de mantener inventario. Por otra parte, el desarrollo del modelo lineal favorece el control y planeación de requerimientos de producción de la empresa, con el fin de proveer al usuario la información necesaria para facilitar la toma de decisiones. Así, se generan como salidas de la herramienta los tamaños de lotes (requerimientos netos), proveedores seleccionados según criterios de evaluación, inventarios actualizados y costos totales de la política.

La *implementación* es la tercera etapa del modelo en cascada, para el cual se cuenta con las entradas del MRP y la herramienta ya diseñada, así como el planteamiento de los indicadores de desempeño tanto de los pronósticos como de la herramienta. A partir de esto, se desarrolla el **objetivo 4**, para el cual, la herramienta es presentada a la empresa y se provee material de apoyo audiovisual con respecto a la información que se encuentra en la misma, el manual de usuario, así como ciertas restricciones y puntos clave a tener en cuenta al momento de manipularla. Posterior a esto, se diligencia por parte de algunos miembros de la empresa de las áreas de interés un formato de evaluación de satisfacción (según los estándares de calidad establecidos por la norma ISO-25010).

Por último, la etapa de *mantenimiento* de la herramienta consiste en realizar un monitoreo posterior una vez sea entregada a la empresa, según se requiera. Para así, asegurar su correcto funcionamiento y corregir oportunamente cualquier inconveniente que pueda surgir, que le impida al usuario manipularla y/o incumplir con su objetivo dentro de la organización.

4.1. Identificar las variables a tener en cuenta para realizar el modelamiento MRP de una empresa de productos naturales para el cuidado personal.

Con el fin de llevar a cabo el diseño de una herramienta MRP para la ayuda de toma de decisiones de la empresa en cuestión, se realizó el levantamiento de información en el cual se identifican ciertas variables y parámetros tales como: Bill of Materials, Plan maestro de Producción, gestión de inventarios y proveedores.

Sin embargo, debido a que se trabajó con un número determinado de productos, en primera instancia se acuerda con la empresa que los criterios a tener en cuenta para seleccionar dichos productos son: alta rotación y utilidades generadas. Para esto, se le solicitó la información de ventas (en unidades) correspondientes a los años 2017, 2018 y 2019, así como su costo unitario de producción y el precio de venta por unidad. La empresa produce un total de 67 productos (incluyendo las líneas de productos existentes con sus diferentes presentaciones para cada uno).

Según métodos gráficos de selección como AHP y Pareto, se seleccionan 14 productos de los cuales, al analizar la información suministrada por la empresa, se evidencia la falta de información en el historial de ventas para el producto P0021, por lo cual se decidió excluirlo de la herramienta piloto presentada a la empresa. Los métodos gráficos mencionados se aplican, tomando como criterio de selección aquellos que son los más

representativos en cuanto a ingresos, cuyos resultados se pueden encontrar en el [Anexo 2](#) (hojas 4 y 5), y el análisis de dichos resultados se encuentra en la sección 6.2. del presente documento. Es importante tener en cuenta, que, por razones de confidencialidad de la empresa en cuestión, se maneja una serie de códigos para identificar los productos, así como las materias primas, materiales de empaque y proveedores. Además, es importante mencionar que para el método de selección del Pareto se maneja la regla del 80/20, es decir, el 20% de los productos representan el 80% de las ventas totales.

En cuanto al Bill of Materials, se estructura teniendo en cuenta la selección de productos mencionada anteriormente. Para cada uno de dichos productos (13 en total), se enlistan las materias primas y materiales de empaque, que de manera gráfica se diferencian cada uno según su tipo, como se puede observar en el [Anexo 5](#). A su vez, debido a que las materias primas y materiales de empaque vienen en unidades diferentes (mililitros, gramos, unidad, entre otros), se contempla esa distinción en la herramienta según el requerimiento de dichos insumos para cada uno de los productos.

En segundo lugar, para la consolidación del Plan Maestro de Producción, se incluyeron los pronósticos de la demanda de los productos en cuestión. Dicho plan cuenta con la cantidad de unidades vendidas en el horizonte de tiempo, en este caso, trazado en semanas. Esto permite conocer cuáles y qué cantidad de materia prima y material de empaque se requiere para la planeación de la producción de cada uno de los productos.

Por otra parte, la política de inventarios de la empresa contempla tres criterios de evaluación para la elección de los proveedores, los cuales son el precio, la calidad del insumo y la responsabilidad fiscal, la cual está enmarcada en la sección 13 de las Normas Internacionales de la Información Financiera (NIIF). Esta se basa en la validación de requerimientos fiscales, como lo puede ser la facturación y el plazo crediticio determinado para las facturas. [Dichos criterios fueron analizados de acuerdo con las necesidades y relevancia en la empresa. Inicialmente la empresa tenía en cuenta la calidad y normas técnicas, y, por otro lado, el precio, esto de manera intuitiva. Dichos criterios se analizaron de manera ponderada según la importancia para la empresa, de acuerdo al análisis DOFA visto previamente.](#)

[En primer lugar, el criterio de calidad y normas técnicas fue el aspecto más importante para la empresa debido a que el producto final depende 100% de la calidad de sus insumos, por esto se analizó de la siguiente manera: \(0 - No Cumple, 100 - Cumple\), y por otro lado, el precio fue el segundo aspecto más importante, esto con el fin de analizar el aspecto beneficio/costo, por esto se analizó de la siguiente manera: \(0 - Precio mayor que del competidor, 100- Precio menor que del competidor\).](#)

[De igual manera, se analizó dentro de la herramienta el criterio de gama de productos, en donde se distinguen aquellos proveedores que proveen la mayor cantidad de productos, esto con el fin de beneficiar las relaciones entre comprador/ proveedor. Para dicho criterio se analiza la cantidad de productos que provee sobre la cantidad total de productos que son suministrados por proveedores.](#)

A la hora de analizar el inventario de forma interna, las materias primas se ingresan por medio de una factura, pero cuando hay ausencia de esta, se utiliza un formato de acuerdo con las normas NIIF. Dichos controles se deberían realizar analizando 4 elementos: materia prima, producto en proceso, producto terminado y producto por comercializar. En primer lugar, la materia prima es ingresada como se mencionó anteriormente, pero no hay un registro actualmente del consumo de dichas materias primas, es decir que no hay un control sobre estas, por ende, no se puede realizar un reporte de salidas y no se tiene un inventario exacto de los productos actuales en la empresa. Por la misma razón expuesta anteriormente, se conoce que respecto al producto en proceso no se tiene una estructura de control, el proceso de costeo de la producción es realizada posteriormente al analizar las cantidades y especificaciones de las materias primas utilizadas.

Con respecto al proceso de costeo dentro de la empresa, se realiza analizando la materia prima y material de empaque, la mano de obra y el Costo indirecto de fabricación (CIF) de los productos. Dicho costeo, al hacerse posteriormente a la producción, no puede llegar a ser controlado. Es por esto que se requiere de un análisis previo para determinar cuál es su valor real y así controlar la información.

4.2. Definir y aplicar el modelo de pronóstico que más se adecue al comportamiento de la demanda de la empresa.

En primera instancia, se tomó como entrada el histórico de unidades vendidas de los productos seleccionados entre los años 2017 a 2019. Es preciso aclarar que cuando se habla de unidades vendidas, se hace referencia a lo que se vendió a los diferentes distribuidores de la empresa de productos naturales, no a clientes finales. Esta información se recopiló como parte del objetivo anterior y se organizó en una matriz que contiene las siguientes columnas: año, mes, semana (1 a 5), código de producto, nombre de producto, unidades vendidas e ingresos obtenidos.

Teniendo en cuenta la información descrita, el procedimiento fue el siguiente: análisis gráfico, corrección de datos atípicos, desarrollo de métodos cuantitativos para pronosticar la demanda y, por último, la selección del pronóstico más adecuado para cada producto según indicadores de error. A continuación, se encuentra la descripción detallada para cada una de las etapas del procedimiento.

Como primer paso, se graficaron las ventas de cada producto a lo largo de los tres años para empezar a observar tendencias. De esta manera, se pudieron evidenciar algunos datos atípicos que representaban actividades anormales en la producción de la empresa en cuestión. De acuerdo a la información suministrada por la empresa, en 2018, a mediados del mes de abril, fue necesario detener la producción por al menos una semana, lo que generó faltantes y aunque se intentó, no fue posible cubrir la totalidad de la demanda de los distribuidores. Por otra parte, en el mes de octubre de 2019, la empresa tuvo problemas con el sistema contable, motivo por el cual no fue posible despachar producto sin factura. Se realizaron muy pocas ventas durante ese período.

En la segunda etapa, se realizó un análisis de estadística descriptiva con base en el gráfico de caja y bigotes para corregir los datos atípicos observados en el paso anterior. Esta corrección de datos atípicos quedó programada en la herramienta con el fin de que la misma corrija los nuevos datos de unidades vendidas que serán ingresados por el usuario, de ser necesario.

Con respecto al tercer paso, se programaron los siguientes modelos tradicionales de pronósticos de demanda: Promedios Móviles, Suavización Exponencial Simple, Suavización Exponencial Doble y Suavización Exponencial Triple (Aditivo y Multiplicativo). Para obtener los pronósticos de demanda de cada uno de los productos, la herramienta diseñada cuenta con un botón de comando llamado “pronóstico” el cual debe ser seleccionado por el usuario y a continuación, deberá digitar el periodo de tiempo que desea pronosticar. Por ejemplo, si el usuario ingresa la semana 2 del mes 1 del año 2020, los pronósticos de demanda serán mostrados desde la última semana registrada en el historial de ventas hasta la fecha seleccionada, en una matriz similar a la mencionada al inicio del presente objetivo, con la diferencia de que ya no se trata de unidades vendidas.

Por último, la medida de error que se utilizó para determinar el modelo de pronóstico más adecuado para cada producto fue el MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio), ya que en la búsqueda bibliográfica se encontró que este indicador es uno de los más usados por sus buenos resultados. En particular, el autor Douglas Frechtling

afirma que el MAPE es de gran utilidad para evaluar la precisión de los pronósticos, además de ser fácil de calcular y entender [17].

La definición y aplicación de los modelos de pronósticos se desarrolló en VBA (Visual Basic for Applications), lenguaje de programación de Microsoft Excel (programa en el que se desarrolló la totalidad de la herramienta). Finalmente, es preciso aclarar que los errores no se muestran al usuario en la herramienta, el programa en VBA analiza el mejor pronóstico internamente para cada producto y este es el que se muestra.

4.3. Desarrollar un modelo de gestión de inventarios basado en algoritmos y modelamiento lineal para la planeación y gestión de materiales de la empresa.

El primer paso para realizar la Planificación de Requerimientos de Materiales es definir la política de gestión de inventarios. Para esto, se realizó un análisis de las diferentes políticas para una demanda determinística, tal como se puede observar en el diagrama de flujo de decisión en el [Anexo 2](#) - Hoja 6. A partir de los requerimientos y la información suministrada de la empresa se seleccionó la política lote a lote, ya que, este modelo es acorde a los sistemas productivos enfocados en el proceso y maneja los pedidos a partir de la cantidad justa y necesaria en cada uno de los periodos. La aplicación de esta política de inventario busca minimizar los costos de mantener inventario, debido a que las materias primas son, en su mayoría, extractos naturales que deben ser debidamente conservados y esto genera costos de posesión y gestión. [18]

Asimismo, cuando se consideró la cantidad mínima que los proveedores despachan a la empresa para generar la gestión de pedidos, se determinó no incluir el stock de seguridad ya que no se tiene información de la cuantificación en la capacidad de la bodega. Además, se observa que se pueden disminuir los costos asociados a la conservación de los materiales, lo que permitirá abordar una mayor rentabilidad sin incurrir en altos costos asociados al mantenimiento [19].

El modelo MRP se realizó en Microsoft Excel, por medio de la programación en VBA, utilizando la lógica de modelamiento lineal e identificando los conjuntos, parámetros y variables de decisión. Con respecto a la información de entrada, se tuvo en cuenta lo siguiente: costos de adquisición (c), costo fijo de pedir (K), costo de mantener inventario (H), los requerimientos brutos (RB) (que pueden ser tanto los pronósticos de demanda que genera la herramienta o la entrada que el usuario desee ingresar como demanda proyectada), y por último, las recepciones programadas (RP).

En el caso de los costos de adquisición, estos implican la compra de materia prima y material de empaque de cada producto seleccionado a los respectivos proveedores, información que fue proporcionada por la empresa. Por otra parte, los costos de mantener inventario se calculan con base en la **Ecuación 1**, donde i es la tasa de interés. Como la empresa no tiene contemplado este costo se hace una sugerencia del 37% sobre el costo de adquisición del producto c , monto que corresponde a la suma del 28% del costo de capital u oportunidad, 2% de impuestos y seguros, 6% costo de almacenamiento y el 1% del costo de deterioros o roturas [20].

$$\text{Costo de mantener}(H) = i * c$$

Ecuación 1. Cálculo costo de mantener

Para los costos fijos de pedir, es preciso aclarar que la empresa no lo tiene cuantificado, por lo tanto, se hizo una estimación del mismo. Para calcular este costo de pedir se deben tener en cuenta los costos de recepción, generación y gestión de pedido los cuales en este caso se reducen en el tiempo que invierte la persona encargada de compras en realizar un pedido, multiplicado por la porción de salario que ese tiempo representa, sumado al

costo de gestión de pedido que incluye el costo de servicios como internet, impresiones y llamadas, multiplicado por el número de pedidos a realizar [20]. Con base en la anterior lógica se plantea la **Ecuación 2**:

$$\text{Costo fijo de pedir } (K) = T * S + P * \text{Número de pedidos}$$

Ecuación 2. Cálculo Costo fijo de pedir

Por otra parte, en cuanto a las recepciones programadas, consideradas como las órdenes colocadas antes del horizonte de planeación que deben llegar para los períodos para los cuales se está planeando.

Asimismo, la herramienta requiere la lista de materiales (materias primas y material de empaque) de los productos seleccionados, la cual se presenta en el numeral 4.1. del presente documento. Además, se incluye, para cada materia prima y material de empaque, la siguiente información de proveedores: datos generales (nombre proveedor y NIT), su evaluación de desempeño, las cantidades mínimas establecidas para realizar un pedido y su respectivo lead time.

En cuanto a las salidas del MRP, es importante mencionar cómo fueron calculadas. En primer lugar, para los inventarios actualizados se manejó la **Ecuación 3**, siendo I_t el inventario correspondiente al periodo t , I_{t-1} , el inventario del periodo anterior, RP , recepciones programadas y RB , requerimientos brutos.

$$\text{Inventario actual } (I_t) = I_{t-1} + RP - RB$$

Ecuación 3. Cálculo Inventario

En segundo lugar, los tamaños de lote a pedir o requerimientos netos se calcularon según la **Ecuación 4**, donde: RB son los requerimientos brutos, I_h es el inventario hipotético y RP son las recepciones programadas.

$$RN (\text{Requerimientos netos}) = \max \{RB - I_{t-1} - RP ; 0\}$$

Ecuación 4. Cálculo requerimientos netos

Finalmente, para estimar el costo total de la política de inventarios implementada se tuvo en cuenta la sumatoria del costo fijo de pedido (K), costo de adquisición (c) y costo de mantener inventario (H), como se puede observar en la **Ecuación 5**.

$$\text{Costo total política} = K + c + H$$

Ecuación 5. Costo total política implementada

En cuanto a la elección proveedores, se realizó con base en los siguientes criterios: Calidad/Normas técnicas y el precio de las materias primas y materiales de empaque. Sin embargo, se recomienda manejar un rango de criterios más amplio, el cual se puede observar en la sección 6.1 con mayor detalle.

Por otra parte, se realizó el modelamiento matemático bajo la lógica descrita en el [Anexo 5](#). De esta forma, se puede evidenciar claramente la base del funcionamiento de la herramienta, teniendo en cuenta los conjuntos de datos que se manejan, parámetros de entrada, variables de salida y la función objetivo basada en la minimización de costos de la implementación de las políticas de inventario.

4.4. Implementar y evaluar la herramienta del modelo MRP diseñado para la empresa de productos naturales para el cuidado personal.

Debido a la situación actual de la pandemia (COVID-19), la cual limitó las visitas a la empresa, la obtención de información, y a su vez, afectó las ventas y la producción en la empresa, no fue posible realizar la implementación de la herramienta como se tenía previsto. En primer lugar, no se pudieron recolectar los datos de ventas de diciembre del 2019 y del primer semestre de 2020, información necesaria para alimentar el historial de ventas y realizar los pronósticos de demanda. Por otro lado, como se desarrolló una implementación “piloto” de la herramienta (la versión final incluirá todos los productos de la empresa), se consideraron algunas oportunidades de mejora para ser ejecutadas en dicha versión final.

Específicamente, para la implementación y evaluación de la herramienta diseñada, se tuvieron en cuenta los numerales a continuación:

- 1) **Indicador de gestión de inventarios:** Se aplicó el indicador *nivel de rotación* para todas las materias primas y material de empaque. Este indicador es utilizado para determinar la velocidad a la que se mueven estos artículos en la bodega, es decir, cuántas veces se ha renovado el inventario semanalmente [21].
- 2) **Indicadores de niveles de servicio:** Debido a que la empresa no cuenta con la información de unidades faltantes, no fue posible analizar los indicadores de niveles de servicio tipo I y tipo II en la implementación piloto. Sin embargo, esta fue una oportunidad de mejora que se tuvo en cuenta para la versión final de la herramienta. De esta manera, se incluyó una sección para el registro de productos faltantes y se dejaron formulados los indicadores mencionados. Lo anterior, teniendo en cuenta la relevancia de aplicar y evaluar indicadores como estos, ya que miden el impacto de los faltantes para la empresa. Por una parte, el nivel de servicio tipo I indica la proporción de ciclos sin faltantes y, por otra parte, el nivel de servicio tipo II representa la proporción de la demanda que se satisface con las existencias en inventario.
- 3) **Simulación:** Con el fin de analizar el margen de error de los pronósticos de demanda con respecto a los datos reales de ventas de la empresa, se realizó una simulación del mes de noviembre de 2019, con la cual se analizó el nivel de precisión de los pronósticos de demanda estimados por la herramienta.
- 4) **Presentación de la herramienta a la empresa:** La entrega de la herramienta a los directivos de la empresa se realizó por medio de una reunión remota en la que se les presentó dos videos explicativos.
- 5) **Evaluación de la herramienta por parte de los directivos de la empresa:** Se realizó una encuesta de satisfacción teniendo en cuenta los criterios de la norma ISO-25010. Dicha evaluación se realizó basada en un análisis por conglomerados o áreas, enfocado en los tomadores de decisiones respecto a la herramienta. Esta fue evaluada por tres personas de las áreas estratégicas: Dirección general, producción y calidad. Los resultados de la encuesta y las observaciones, serán tenidas en cuenta para el desarrollo de la versión final de la herramienta [22].
- 6) **Manual de usuario:** Este se desarrolló de manera detallada con el fin de darle entendimiento al usuario sobre el modo de descarga de la herramienta, manejo y análisis de información.

5. Componente de Diseño en Ingeniería.

5.1. Declaración de Diseño

Este trabajo de grado tiene como finalidad el diseño de una herramienta para facilitar la toma de decisiones a la hora de realizar el proceso de compra y almacenamiento de materiales de una PYME del sector manufacturero, para así permitir una debida administración de los recursos de producción dentro de la empresa.

5.2. Proceso de Diseño

A continuación, se presenta un diagrama de flujo que muestra el proceso de diseño y las respectivas imágenes que permiten observar las secciones más importantes de la herramienta en Excel.

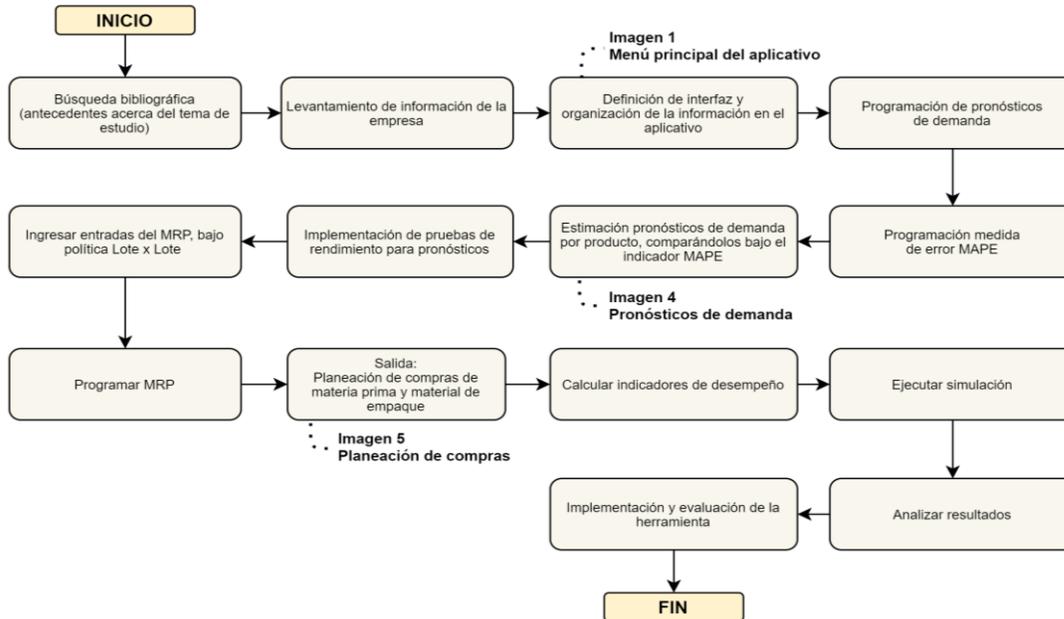


Diagrama 1. Proceso de diseño de la herramienta (Fuente: Elaboración propia).

AÑO	MES	SEMANA	ID PRODUCTO	NOMBRE PRODUCTO	PRONOSTICO	GANANCIA
2019	11	1	P0002	SHA. EXTRACTO X 1000	398	\$ 4.312.831,48
2019	11	1	P0004	SHA. ROMERO Y QUINA X 1000	406	\$ 4.155.921,56
2019	11	1	P0005	EXF. CAFÉ X 1000	348	\$ 3.826.002,48
2019	11	1	P0007	TRAT. KERATINA X 15	40280	\$ 27.946.666,80
2019	11	1	P0009	TINTE. #1 X 240	1885	\$ 23.674.544,40
2019	11	1	P0012	TINTE. #2 X 240	1670	\$ 17.532.394,80
2019	11	1	P0015	TINTE. #3 X 240	458	\$ 5.371.167,52
2019	11	1	P0018	TINTE. #4 X 240	1751	\$ 16.563.479,44
2019	11	1	P0019	TINTE. #5 X 240	783	\$ 9.357.977,52
2019	11	1	P0020	TINTE. #6 X 240	847	\$ 9.500.324,68
2019	11	1	P0024	TINTE. #7 X 240	3682	\$ 42.569.222,08
2019	11	1	P0022	TRAT. AGUACATE X 1000	1227	\$ 12.235.963,02
2019	11	1	P0016	TRAT. KERATINA X 240	2968	\$ 33.420.570,40

Imagen 4. Sección de pronósticos de demanda en la herramienta - Ejemplo. (Fuente: Elaboración propia)

MATERIA PRIMA	PROVEEDOR	CANTIDAD A PEDIR	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA PEDIDO	FECHA DE LLEGADA	INVENTARIO	PRECIO	COSTO MANTENER
M104	660497	35	KILOS	25/10/2019	4/11/2019	2,84	\$ 363.809,78	2.952,06
M106	660497	188	KILOS	25/10/2019	4/11/2019	1,89	\$ 3.745.509,90	3.772,25

Imagen 5. Sección de planeación de compra de materia prima y material de empaque en la herramienta - Ejemplo. (Fuente: Elaboración propia)

5.3. Requerimientos de desempeño

Como se ha mencionado anteriormente, la solución propuesta tiene como característica principal facilitar la toma de decisiones por medio de una planificación adecuada de materias primas y material de empaque. Para ello, la herramienta requiere la información del historial de ventas de la empresa y estima la demanda de los productos seleccionados. Se programaron 5 modelos de pronósticos de demanda y los resultados fueron comparados bajo la medida de error MAPE, con el fin de escoger el modelo más adecuado para cada producto. Adicionalmente, para evaluar la precisión del pronóstico de demanda elegido, este fue comparado bajo el método Naive, teniendo en cuenta ciertos criterios de evaluación.

Con respecto a la Planificación de Requerimientos de Materiales, la herramienta utiliza las entradas del modelo MRP y genera como *output* la información necesaria para crear informes de producción con el fin de llevar una gestión del inventario de materias primas e insumos más eficiente. Además, es flexible en cuanto a cambios en los pronósticos de demanda de los productos, permitiendo analizar diferentes escenarios de planeación de la producción. Finalmente, los resultados obtenidos con la herramienta diseñada permitirán al usuario tomar decisiones informadas, a través del análisis de datos bajo métodos cuantitativos, algoritmos y modelamiento lineal. Por último, se mide el impacto que la herramienta está generando en la empresa por medio de indicadores de gestión de inventarios.

5.4. Pruebas de rendimiento

Con el fin de garantizar que la herramienta diseñada cumple con los requerimientos de desempeño, se realizaron pruebas en las siguientes etapas: en primer lugar, con respecto a los pronósticos de demanda se realizó una comparación de los modelos de pronósticos mencionados en el numeral 4.2. bajo la medida de error MAPE. De igual manera, se evaluó el desempeño de los pronósticos obtenidos mediante la comparación con el modelo Naive, bajo los siguientes criterios propuestos por Frechtling [17]:

- Un modelo con un MAPE inferior a la mitad del MAPE del modelo Naive, indica un método de pronóstico altamente preciso.
- Un modelo con un MAPE entre 50% y 100% del MAPE del modelo Naive, indica un método de pronóstico razonablemente preciso.
- Un modelo con un MAPE superior al MAPE del modelo Naive, es un método poco preciso.

Por otra parte, se realizó una simulación en la que se utilizaron los datos de enero de 2017 a octubre de 2019 del historial de ventas de la empresa y se pronosticó la demanda correspondiente a noviembre de 2019. Esto con el fin de determinar si los pronósticos de demanda arrojados por la herramienta son acertados. Además, con respecto a los indicadores del modelo MRP, es importante resaltar que, debido a que la empresa no cuenta con un registro de unidades faltantes, los niveles de servicio (tipo I y tipo II) no fueron calculados. Sin embargo, con el fin de abordar esta oportunidad de mejora y darle solución desde el planteamiento y desarrollo de esta herramienta, se genera un formato para dicho registro y su cálculo respectivo.

Ahora bien, para evaluar y determinar el desempeño de la política de inventarios implementada, se calcula el indicador correspondiente a la rotación de inventario, el cual indica la frecuencia con la cual se renueva el inventario por producto. A continuación, se pueden observar las ecuaciones correspondientes para el cálculo de los indicadores mencionados anteriormente.

$$\text{Nivel de servicio tipo I} = \frac{\text{Número de ciclos sin faltantes}}{\text{Número total de ciclos}}$$

Ecuación 6. Cálculo Nivel de servicio Tipo I

$$\text{Nivel de servicio tipo II} = \frac{\text{Valor esperado de faltantes}}{\text{Valor esperado de demanda}}$$

Ecuación 7. Cálculo Nivel de servicio Tipo II

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{Valor promedio de ventas} \left(\frac{\$}{\text{día}} \right)}{\text{Valor promedio del inventario} (\$)}$$

Ecuación 8. Cálculo Rotación Inventario

Los resultados de las pruebas anteriores que se llevaron a cabo, junto con sus respectivos análisis se podrán observar con detalle en el capítulo No. 6 (resultados) del presente documento.

5.5. Restricciones

- El desarrollo del presente trabajo de grado es una implementación “piloto” de la herramienta propuesta, dado que sólo se incluyeron algunos productos. Lo anterior se debe a las políticas de privacidad de divulgación de información sobre las respectivas órdenes de producción para cada uno de los productos manejados por la empresa.
- Con respecto a la estimación de demanda, se tuvo en cuenta el historial de ventas a partir de enero de 2017 con cierre a noviembre de 2019. No fue posible realizar el levantamiento de la información del primer semestre de 2020 debido a la situación actual que atraviesa el país (COVID-19), como se mencionó anteriormente.
- Fue necesario realizar una corrección de datos atípicos en el historial de ventas para poder encontrar modelos de pronóstico más adecuados.
- No se analizaron todas las políticas de gestión de inventarios que se encuentran en la literatura, únicamente la que cumplió con los requerimientos de la empresa (Lote x Lote). Asimismo, no se tuvo en cuenta stock de seguridad, ya que los proveedores tienen unas cantidades mínimas establecidas para realizar un pedido de materia prima.
- La empresa no tiene establecido un costo de mantener inventario, por lo cual fue necesario proponerlo y darle un valor estimado del 37% que corresponde a la suma del 28% del costo de capital u oportunidad, 2% de impuestos y seguros, 6% costo de almacenamiento y el 1% del costo de deterioros o roturas [20].
- En cuanto al costo de ordenar, la empresa tampoco lo tiene cuantificado. Por lo tanto, este también fue propuesto como lo indica la **Ecuación 2**.

5.6. Cumplimiento del estándar

Con el fin de garantizar que la herramienta cumple con los estándares de diseño de la norma ISO-25010 de 2014 [24], se evaluaron las 8 características de calidad de la misma, de la siguiente manera:

1. Adecuación funcional: La herramienta proporciona funciones adecuadas que satisfacen los requerimientos declarados en el numeral 5.3. del presente documento.

2. Eficiencia de desempeño: Se refiere a los tiempos de respuesta y procesamiento del sistema cuando éste lleva a cabo sus funciones. En promedio, los tiempos se comportan así: para la estimación de pronósticos de demanda 28 segundos al pronosticar un mes. Sin embargo, se recomienda no pronosticar periodos de tiempo tan largos (más de 3 meses), debido a que podría verse afectado el tiempo de respuesta y el procesamiento del sistema. Por otro lado, para la planeación de compras tarda 1 min., 17 s. al realizar la planeación de un mes.

3. Compatibilidad: Capacidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y/o llevar a cabo sus funciones cuando comparten el mismo entorno. En este caso, la herramienta maneja dos archivos de Excel que se complementan. En el primero, se encuentra la información de la empresa (historial de ventas, requerimientos de materias primas y material de empaque para cada producto, evaluación de proveedores, inventario y órdenes en firme), y en el otro, se maneja el registro de información y las salidas del MRP (pronósticos de demanda y planeación de compras).

4. Usabilidad: Capacidad del producto/software para ser entendido, aprendido, usado y resultar atractivo para el usuario. Para esto, se realiza un manual de uso en donde paso a paso se le informa al usuario sobre el funcionamiento de la herramienta para controlarla con facilidad. De igual manera, esta cuenta con mensajes de alerta en el momento de ingresar un dato no deseado o faltante, con el fin de proteger el sistema de errores.

5. Fiabilidad: Capacidad de la herramienta para desempeñar las funciones especificadas. En este caso, la herramienta fue diseñada principalmente para suministrar una ayuda en la toma de decisiones sobre la gestión de inventarios. Esta herramienta tiene una madurez de información suficiente para operar, ya que, mediante diversos tipos de datos, se obtienen las salidas necesarias para su aplicación inmediata en la empresa.

6. Seguridad: La herramienta tiene la capacidad para prevenir accesos o cambios no autorizados a datos mediante la protección de hojas y celdas específicas con contraseña, siempre y cuando estas no deban ser modificadas. Además, se minimizan los errores del usuario al registrar información por medio de listas desplegables, para que la persona pueda seleccionar un ítem y no digitar texto o números.

7. Mantenibilidad: Tiene la capacidad para ser modificada, puesto que es flexible en cuanto a cambios en los pronósticos de demanda y la planeación de compras. En el primer caso, es posible realizar el MRP con una demanda establecida por el usuario y no necesariamente la que arroja la herramienta, y en el segundo caso, el usuario puede escoger entre realizar la planeación de todos los productos con sus respectivos pronósticos o realizar la planeación de los productos de su preferencia con sus respectivos pronósticos.

8. Portabilidad: Facilidad que tiene el producto para ser instalado y/o desinstalado de forma exitosa en un determinado entorno. En este caso, para instalar la herramienta en otro entorno, basta con cambiar la ruta de acceso en el archivo principal (llamado “MRP TESIS JAVERIANA 0320”). Este punto es explicado con detalle en el manual de usuario.

6. Resultados

6.1. Identificar las variables a tener en cuenta para realizar el modelamiento MRP de una empresa de productos naturales para el cuidado personal.

En primer lugar, para determinar el número de productos que se consideraron para ser analizados con la herramienta, se toma la decisión con la empresa, que los criterios a tener en cuenta para dicha selección son: alta rotación y utilidades que estos generan. Para esto, se le solicitó a la empresa las ventas (en unidades) correspondientes al 2019, así como su costo unitario de producción y el precio de venta por unidad. La empresa produce un total de 67 productos (incluyendo las líneas de productos existentes con sus diferentes presentaciones para cada uno), de los cuales se seleccionan, según los métodos de AHP y Pareto, los más representativos en cuanto a ingresos, como se describe en la sección 4.1.

Por una parte, para el método de Pareto el criterio de selección de productos es la utilidad generada por producto, mientras que para el método AHP se evalúa el costo de producción, precio de venta y frecuencia de

venta (unidades). La información mencionada anteriormente, implementación y resultados de dichos métodos se puede observar en el [Anexo 3](#). Se evidencia, además, en el análisis de dicha información, que el producto P0021 se excluyó de la selección final de productos, para un total de 13. Lo anterior, debido a que no se cuenta con la misma cantidad de información histórica de ventas del resto de productos, por ende, no se estaría evaluando bajo los mismos parámetros.

Al analizar la gestión de inventarios con referencia a la selección de proveedores, se evidencia que la empresa carece de criterios robustos en la selección para los mismos. Por lo anterior, se considera pertinente implementar un sistema de evaluación, teniendo en cuenta algunos criterios tales como:

- Calidad y Normas técnicas: Contempla la aceptación o rechazo del insumo de acuerdo a su calidad o necesidades de la empresa.
- Cumplimiento de entrega: Desfase de días en la fecha de entrega versus la entrega programada.
- Respuesta a cotizaciones: Considera el tiempo en que se demora en responder a la necesidad (cotizaciones) de la empresa.
- Precio del insumo: Compara el costo de adquisición con respecto a otros proveedores.
- Cumplimiento de cantidad: Tiene en cuenta la verificación de la cantidad pedida versus la cantidad recibida.
- Legalidad de la constitución: Considera la verificación del posible ingreso del insumo con factura.
- Gama de productos: Contempla la cantidad de productos que maneja el proveedor con respecto a los demás proveedores.
- Compromiso ambiental: Tiene en cuenta el tipo de transporte utilizado, tipo de empaque y desechos.

Cada uno de los criterios mencionados serían evaluados por los directivos de la empresa. Es importante tener en cuenta que los únicos que se utilizaron en la herramienta para la selección de proveedores fueron precio del insumo, gama de productos y calidad y normas técnicas. Lo anterior, debido a que para el resto de criterios no se contaba con información para evaluar a los proveedores y no se quiso incurrir en suposiciones sin fundamento.

6.2. Definir y aplicar el modelo de pronóstico que más se adecue al comportamiento de la demanda de la empresa.

Con el fin de darle cumplimiento al objetivo 2 y siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 4.2. de la metodología, se enuncian a continuación los resultados respectivos. En primera instancia, el análisis gráfico permitió evidenciar que el comportamiento de todos los productos seleccionados es similar. Sin embargo, el producto con código P0007 (Tratamiento de Keratina x 15ml) tiene ventas considerablemente más elevadas que las del resto de productos. Esto, debido a la naturaleza del comportamiento del mismo producto y las altas fluctuaciones en su demanda histórica.

Por otra parte, al analizar la información, se evidenció la existencia de datos atípicos en el historial de ventas. Por lo cual, al consultarlo con la empresa, ésta manifestó ciertos hechos puntuales, mencionados en la sección 4.2, que pudieron haber tenido un impacto en la producción y en las ventas. Debido a lo anterior, se emplearon los métodos estadísticos ya mencionados en el documento, para así evitar cualquier impacto negativo en los resultados y por ende en el análisis. Para los periodos en los cuales se encontraron datos atípicos, una vez identificados, se corrigieron asignándoles el valor de la valla superior o inferior según corresponda.

Posteriormente, comparando los métodos de pronósticos según el MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio), buscando minimizar el error, se escogió el método de pronóstico que más se adecúe al comportamiento

de los datos. Se puede evidenciar en la **Tabla 1**, los resultados obtenidos para los pronósticos de demanda, calculados a partir del historial de ventas desde enero de 2017 a octubre de 2019.

PRODUCTO	PROMEDIO MOVIL	SUV. SIMPLE	HOLT	W. ADITIVO	W. MULTIPLE
P0002	100,8%	105,0%	104,0%	1028,1%	78,3%
P0004	160,9%	120,8%	135,0%	1571,5%	74,6%
P0005	91,4%	85,4%	80,7%	815,8%	59,0%
P0007	4680,7%	4689,4%	4255,4%	33661,8%	499,9%
P0009	96,9%	90,6%	92,5%	1044,7%	66,8%
P0012	69,5%	63,5%	63,0%	899,0%	65,6%
P0015	159,6%	125,9%	135,6%	1026,1%	82,9%
P0018	67,3%	62,5%	64,2%	929,8%	65,7%
P0019	77,0%	67,4%	68,8%	805,7%	56,3%
P0020	90,8%	82,3%	87,5%	936,2%	62,9%
P0024	81,2%	75,2%	75,8%	1028,4%	67,9%
P0022	234,5%	191,7%	197,7%	2309,0%	93,2%
P0016	113,9%	103,2%	104,6%	1230,0%	66,5%

Tabla 1. Comparación métodos de pronóstico de demanda (Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar, el método Winters Multiplicativo o Suavización Exponencial Triple, en 11 de los 13 productos obtuvo el MAPE más bajo en comparación al resto de pronósticos, lo cual indica que al realizar el pronóstico de la demanda con este método se obtendrían los resultados más exactos con respecto a los otros métodos de pronóstico. Los periodos anteriores que se tuvieron en cuenta para el cálculo del error MAPE para todos los productos fueron desde enero de 2017 a octubre del 2019. A partir de dicho análisis, se tomó la decisión de añadir el modelo Naive como otro método de pronóstico a comparar, debido a que el producto P0007 no se ajustaba a ninguno de los métodos de pronóstico de la **Tabla 1**. Por esta razón, la precisión de los pronósticos y los costos asociados a la planeación de compras se veían afectados por el desfase que este producto representaba.

Por otra parte, también se puede evidenciar que los productos P0012 y P0018 presentan una diferencia en los resultados con respecto a los demás productos, para los cuales los métodos de pronósticos que más se ajustan al comportamiento de los datos históricos corresponden al método de Suavización Exponencial Doble y Suavización Exponencial Simple, respectivamente.

Es preciso resaltar también, que, para todos los productos, bajo los pronósticos seleccionados, el valor correspondiente a la medida de error (MAPE) fue positiva, lo cual indica que se trata de unidades adicionales que habría en inventario. Por lo anterior, el valor de stock de seguridad en los cálculos y resultados posteriores no se tiene en cuenta, ya que se busca mantener el inventario más exacto posible, sin incurrir en almacenamiento adicional por parte de la empresa, según su mismo requerimiento.

6.3. Desarrollar un modelo de gestión de inventarios basado en algoritmos y modelamiento lineal para la planeación y gestión de materiales de la empresa.

El desarrollo de la Planificación de Requerimientos de Materiales se realizó con base en el modelamiento matemático presentado en el [Anexo 6](#). En él, se encuentran los conjuntos, parámetros, variables y función objetivo que se tuvieron en cuenta para el diseño de la herramienta.

Con respecto a los resultados, se realizó la planeación de la primera semana del mes de noviembre del 2019 como un ejemplo, y se obtuvieron las siguientes salidas:

En primer lugar, una matriz (ver **Tabla 2**) de pronósticos previstos para el horizonte de planeación indicando: el año, mes y semana en que se pronosticó, el código que identifica cada producto junto con su nombre, la

cantidad de unidades que se pronostica vender y la ganancia asociada donde se contempló la diferencia entre el costo de producción y el precio correspondiente.

AÑO	MES	SEMANA	ID PRODUCTO	NOMBRE PRODUCTO	PRONOSTICO	GANANCIA
2019	11	1	P0002	SHA. EXTRACTO X 1000	398	\$ 4.312.831,48
2019	11	1	P0004	SHA. ROMERO Y QUINA X 1000	406	\$ 4.155.921,56
2019	11	1	P0005	EXF. CAFÉ X 1000	348	\$ 3.826.002,48

Tabla 2. Salida pronóstico de demanda en la herramienta. (Fuente: Elaboración propia)

Por otra parte, se evidencia la sección de planeación de compras de materia prima y material de empaque (ver **Tabla 3**), por medio de una matriz donde se observa el código de materia prima o material de empaque necesario para la producción de los ítems escogidos para la planeación de compras, el proveedor (NIT), el cual ha sido evaluado internamente por el programa según los criterios establecidos por el usuario, la cantidad a pedir (que tiene en cuenta la cantidad necesaria y el lote mínimo de pedido para el proveedor) y la unidad de medida según el material.

Además, se observa la fecha para hacer dicho pedido, la fecha prevista de llegada, la cual incluye el lead time y la cual se ha programado para que llegue el primer día de cada una de las semanas analizadas si es requerido, el inventario que quedará en bodega después de haber realizado la producción de los productos escogidos, el precio de pedido de dicho material y su costo de mantener el inventario.

MATERIA PRIMA								
MATERIA PRIMA	PROVEEDOR	CANTIDAD A PEDI	UNIDAD DE MEDID	FECHA PEDIDC	FECHA DE LLEGAD/	INVENTARIO	PRECIO	COSTO MANTENÉ
M104	660497	35	KILOS	25/10/2019	4/11/2019	2,84	\$ 363.809,78	10.922,61
M106	660497	188	KILOS	25/10/2019	4/11/2019	1,89	\$ 3.745.509,90	13.957,33
M107	660497	16	KILOS	25/10/2019	4/11/2019	2,24	\$ 165.389,16	8.577,62

Tabla 3. Salida: Planeación de compra de materia prima. (Fuente: Elaboración propia)

De igual manera, en la **Tabla 4** se analizan los costos totales para la política en el horizonte de planeación, donde se tienen los costos de pedir, los costos de mantener y unos riesgos asociados tanto para la materia prima como para los materiales de empaque.

Costo Minuto x Llamada	\$ 33	Minutos destinados para llamadas	3	Porcentaje de Riesgos MP	37%
Salario Minuto coordinadora de compras	\$ 61	Minutos destinados para la coordinación de compra.	10	Porcentaje de Riesgos ME	37%
Costo Impresión de Orden	\$ 25	Costo x Pedido	\$ 734		

Tabla 4. Costos de pedir materiales, mantener inventario y riesgos. (Fuente: Elaboración propia)

Con la finalidad de conocer los beneficios económicos que podría obtener la empresa implementando la herramienta de planeación de compra a sus procesos de decisión de producción y ventas, se realizó una comparación con respecto a las utilidades según la demanda pronosticada y la demanda real. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en estos cálculos se contemplaron dos costos que la empresa analizada no posee al momento de sacar los reportes, los cuales corresponden al costo de pedir y el de mantener, el cual se encuentra asociado a pérdidas, daños o robos de mercancía.

En la **Tabla 5** se pueden observar los resultados de los cálculos mencionados, los cuales proporcionan una diferencia de **44.43%** entre las cifras de los pronósticos y las ventas realizadas en el mes de noviembre del 2019, porcentaje que corresponde en términos monetarios a **43'843.766** pesos. Para evaluar este resultado se debe tener presente que las ganancias calculadas por la herramienta representan el mejor escenario para la empresa, es decir vendiendo todo lo que se ha pronosticado.

	Pronostico nov	Real Nov
Costo Total de Pedir	\$ 30.811	\$ 27.876,25
Costo Total de Adquisición	\$ 127.288.367	\$ 97.342.534,36
Costo Total de Mantener	\$ 4.239.420	\$ 3.203.420,21
Costo Total	131.558.598	\$ 100.573.830,81
Ingreso Total Ventas	\$ 210.467.066	\$ 135.638.532,50
Utilidades Totales	\$ 78.908.468,23	\$ 35.064.701,69

Tabla 5. Costos totales e Ingresos totales ventas comparación de las ventas pronosticadas y las ventas reales de nov - 2019. (Fuente: Elaboración propia)

La diferencia porcentual en las ventas de ambos escenarios pudo verse afectada por la falta de planeación y comunicación entre las áreas encargadas, lo que trae como consecuencia, incurrir en pérdidas de ventas por falta de materiales y recursos humanos para llevar a cabo las operaciones de producción.

6.4. Implementar y evaluar la herramienta del modelo MRP diseñado para la empresa de productos naturales para el cuidado personal.

El presente apartado, pretende dar respuesta a los numerales expuestos en el subcapítulo 4.4., los cuales contemplan la implementación y evaluación de la herramienta. A continuación, se detallan los resultados de cada uno:

- 1) Indicador de gestión de inventarios: Este indicador, el cual se aplicó para todas las materias primas y materiales de empaque, es útil para determinar una *rotación baja*, que significa que el artículo debe estar almacenado durante más tiempo hasta que deba ser usado, o una *rotación alta*, que significa que se tienen menos costos de almacenamiento, ya que el artículo no tarda tanto tiempo en ser usado.
- 2) Indicadores de niveles de servicio: Estos indicadores se pueden visualizar en el archivo “Datos información” del [Anexo 1](#).
- 3) Simulación: Se realizó la simulación del mes de noviembre del 2019 (del cual se tenía la información de ventas), con la finalidad de comparar la precisión de los modelos de pronóstico aplicados por la herramienta (Ver [Anexo 10](#) - Hoja 1). En la **Tabla 6** se puede observar los resultados de la medida de error MAPE con respecto a las ventas pronosticadas y las ventas reales.

PRODUCTO	P0002	P0004	P0005	P0007	P0009	P0012	P0015	P0018	P0019	P0020	P0024	P0022	P0016
MAPE	34,6%	21,9%	60,8%	75,2%	47,0%	39,2%	30,5%	27,2%	18,4%	42,3%	49,1%	37,7%	15,2%

Tabla 6. Evaluación del MAPE con respecto a la simulación del mes de noviembre del 2019. (Fuente: Elaboración propia)

Debido a las constantes fluctuaciones en la demanda e imprevistos presentados durante los periodos analizados dentro de la compañía, los pronósticos de demanda de los productos P0005 y P0007 tienen una diferencia significativa con respecto a las demandas reales, por lo cual se consideran como pronósticos con baja precisión (tienen un MAPE mayor al 50% [17]). Por otra parte, los productos P0016 y P0019 tienen una buena precisión en su pronóstico de demanda, mientras que el 69% de los productos seleccionados tienen un pronóstico de demanda razonablemente preciso, ya que tienen un MAPE entre 20% y 50%.

Además, al analizar los pronósticos para el producto P0007 existe una diferencia significativa con respecto a las demandas reales, sin embargo, se puede observar que el 92% de los productos se encuentra dentro de los rangos de precisión.

- 4) Presentación de la herramienta a la empresa: En la reunión remota con las áreas estratégicas de la empresa, se presentó un primer [vídeo](#), el cual explica el planteamiento del problema, la solución que el modelo MRP brinda a la empresa, los resultados obtenidos y algunas recomendaciones de uso. Por

otro lado, se hizo entrega de un segundo [vídeo](#) que explica a profundidad el funcionamiento de la herramienta y el contenido del manual de usuario. (Ambos videos se pueden encontrar en el [Anexo 8](#) - Página 2).

- 5) Evaluación de la herramienta por parte de las áreas estratégicas de la empresa: En el [Anexo 3](#) (Páginas 8-10), se presentan las evaluaciones de satisfacción de la herramienta realizadas por la gerente general, la jefe de producción y la supervisora de calidad de la empresa. En la **Tabla 8** que se observa a continuación, se evidencia que en la escala de 1 a 5 que se manejó para evaluar las características de calidad de la herramienta, las únicas que no tienen un puntaje mayor a 4, son seguridad y portabilidad.

Característica	Adecuación Funcional	Eficiencia de desempeño	Compatibilidad	Usabilidad	Fiabilidad	Seguridad	Portabilidad
Puntaje Promedio	4,33	4,50	4,17	4,33	4,33	2,25	3,67

Tabla 8. Resultados Encuestas Evaluación Herramienta. (Fuente: Elaboración propia)

- 6) Manual de usuario: En el [Anexo 8](#) se encuentra el manual de usuario, el cual fue entregado a la empresa junto con la herramienta.

6.5. Medición del impacto

Los posibles impactos al implementar la herramienta diseñada en la empresa se pueden evidenciar en dos actividades específicas que son: la actualización del inventario inicial y la estimación de la demanda, la cual está enlazada con el Bill of Materials de las órdenes de producción, que permiten hacer una planeación de los requerimientos de materia prima y material de empaque. La síntesis de este impacto en el área de abastecimiento de insumos para la empresa se puede observar en el [Anexo 9](#).

Además, se esperaría una mayor coordinación entre las áreas de compras, abastecimiento y ventas, ya que al tener una herramienta que provee pronósticos de demanda, basándose en los mismos, es posible trabajar con un enfoque en la misma proyección de ventas. Por otra parte, en cuanto a los costos, es necesario resaltar el hecho de que, previo al desarrollo del presente trabajo de grado, no se contemplaba un sistema de costeo riguroso, específicamente para los costos de ordenar un pedido y costos de mantener.

Ahora bien, en cuanto a calidad, se esperaría un impacto positivo en los estándares de calidad de los productos, debido a que la herramienta considera elementos como el vencimiento de materias primas, rotación de inventarios, fechas de llegada de materia prima y elección de proveedores bajo criterios de evaluación.

Asimismo, como se mencionó anteriormente en la sección de pruebas de rendimiento, con el fin de garantizar que la herramienta diseñada cumple con los requerimientos de desempeño, se evaluó el desempeño de los pronósticos obtenidos mediante la comparación con el modelo Naive (Ver [Anexo 10](#) - Hoja 2). Dichos resultados se pueden observar en la **Tabla 9**. Allí se evidencia que el único pronóstico considerado poco preciso es el P0007, que, como se ha mencionado anteriormente en el documento, debido a factores que afectaron el comportamiento de su demanda, no se logra acoplar al método de pronóstico elegido, a pesar de ser el de menor error entre las opciones que fueron evaluadas.

CODIGO	METODO	MAPE		NIVEL
		VALOR PRONOSTICO	NAIVE	
P0002	Winters Multiplicativo	78,3%	152,30%	Razonablemente Preciso
P0004	Winters Multiplicativo	74,6%	181,04%	Altamente Preciso
P0005	Winters Multiplicativo	59,0%	118,91%	Altamente Preciso
P0007	Winters Multiplicativo	499,9%	118,88%	Poco Preciso
P0009	Winters Multiplicativo	66,8%	151,72%	Altamente Preciso
P0012	Suavización Doble	63,0%	103,28%	Razonablemente Preciso
P0015	Winters Multiplicativo	82,9%	219,29%	Altamente Preciso
P0018	Suavización Simple	62,5%	137,86%	Altamente Preciso
P0019	Winters Multiplicativo	56,3%	98,96%	Razonablemente Preciso
P0020	Winters Multiplicativo	62,9%	113,06%	Razonablemente Preciso
P0024	Winters Multiplicativo	67,9%	116,62%	Razonablemente Preciso
P0022	Winters Multiplicativo	93,2%	361,28%	Altamente Preciso
P0016	Winters Multiplicativo	66,5%	121,76%	Razonablemente Preciso

Tabla 9. Evaluación desempeño pronósticos según MAPE (Fuente: Elaboración propia)

Por otra parte, los productos P0004, P0005, P0009, P0015, P0018 y P0022 se consideran altamente precisos ya que los modelos de pronósticos correspondientes a estos productos tienen un MAPE inferior a la mitad del MAPE del modelo Naive. El resto de productos tienen pronósticos de demanda razonablemente precisos, es decir, tienen un MAPE entre el 50% y 100% del MAPE del modelo Naive.

7. Conclusiones y recomendaciones

El abastecimiento y gestión de inventarios de materia prima e insumos son procesos fundamentales en empresas transformadoras de producto, como se evidencia en la empresa objeto de estudio. Dado que esta realiza el plan de producción basándose en la experiencia previa, la herramienta diseñada basada en un modelo MRP, será de gran utilidad para reforzar el Programa de Producción Maestro (gracias a la estimación de pronósticos de demanda) y el Plan de Requerimientos de Materiales, que permitirá tomar decisiones informadas con la ayuda de métodos cuantitativos.

Con respecto a los pronósticos de demanda, estos fueron estimados en VBA. Se programaron 5 métodos y los resultados de cada uno de ellos fueron comparados bajo el indicador de error MAPE, con el fin de escoger el pronóstico que mejor se adapte al comportamiento de cada producto. Adicionalmente, los pronósticos fueron analizados bajo los criterios propuestos por Frechtling (sección 5.4) con ayuda del modelo Naive. Bajo este análisis, se encontró que los pronósticos de 6 productos son altamente precisos y los demás son razonablemente precisos, a excepción de un único producto que tuvo un pronóstico poco preciso. Por tal razón, se decidió añadir el modelo Naive como un nuevo método de pronóstico a comparar, debido a que el comportamiento de este último producto no se ajustaba a ninguno de los 5 modelos planteados en un principio.

Es importante también tener en cuenta que los criterios para validar la precisión o aceptación del MAPE son propuestos por los autores Frechtling y Lewis citados a lo largo del presente documento. Por lo cual, a pesar de evidenciar unos niveles altos de estos errores MAPE, existe un fundamento teórico o científico detrás de la aceptación de los mismos, por lo cual se consideran pertinentes los niveles de precisión de los pronósticos aplicados y resultantes.

Con base en la planeación de insumos, se desarrolló la política de gestión de inventarios *Lote x Lote*, ya que ésta se adapta a los requerimientos de la empresa: pedir justo lo necesario para los periodos necesarios, con el fin de minimizar los costos de mantener inventario. Asimismo, no se tuvo en cuenta stock de seguridad por el hecho de que los proveedores tienen unas cantidades mínimas establecidas para realizar un pedido.

Como resultado, la herramienta cuenta con una planeación de compra de materia prima y material de empaque, la cual incluye información como la cantidad a pedir y a qué proveedor (seleccionado de acuerdo a unos criterios de evaluación), la fecha para realizar el pedido y la fecha de llegada según el lead time del

proveedor. De igual manera, se muestra el costo total de implementar la política y la utilidad total. Para realizar una comparación de estos costos, se tuvo en cuenta la demanda pronosticada y la demanda real de noviembre de 2019, y se evidenció una diferencia en la utilidad de 43'843.766 pesos. Lo anterior puede deberse a una falta de planeación y comunicación entre las áreas encargadas, que trae como consecuencia pérdidas por concepto de ventas, gracias a la falta de materiales y recursos para llevar a cabo la producción.

Por otra parte, a pesar de que en la actualidad es posible encontrar en el mercado tecnológico Sistemas de Información que incluyen métodos de Planificación de Requerimientos de Materiales y gestión de inventarios, se pueden presentar varios inconvenientes en su implementación, dependiendo de los contextos de las empresas. Algunos sistemas y paquetes de software incluyen varios procesos de negocio (como MRP) y permiten el flujo de información entre ellos. Estos son los llamados sistemas ERP (Enterprise Resource Planning). Sin embargo, el problema de implementar estas tecnologías radica en los altos costos que deben asumir las empresas, tales como: costos de Hardware, ya que puede haber cambios en la plataforma tecnológica de la empresa, costos de Software (licenciamiento), servicios de consultoría y algunos costos ocultos como la capacitación de los usuarios o la migración de datos al sistema [25].

En este orden de ideas, la innovación para este caso de estudio se ve reflejada en la medida que se aborda la problemática de la empresa (de la categoría PYME) relacionada con la gestión de inventarios de materia prima e insumos, teniendo en cuenta las características y limitaciones de la misma. La herramienta diseñada basada en un modelo MRP es de bajo costo en comparación con otros sistemas de información. Esta fue desarrollada en Excel, lo que significa que la empresa no debe realizar cambios en plataformas tecnológicas, ni contratar servicios de consultoría, o incurrir en costos de capacitaciones. De igual manera, esta cumple con estándares de calidad y se adapta a los requerimientos y necesidades de la organización. Lo que se pretende es que la herramienta le ayude a la empresa a cambiar, poco a poco, sus procesos, su cultura organizacional y la forma en la que se toman las decisiones, con la ayuda de métodos cuantitativos y herramientas de Ingeniería.

Finalmente, para futuros trabajos, se propone abordar el Plan de Requerimientos de Capacidad, el cual se desarrolla después del Plan de Requerimientos de Materiales. En él, se determinan los recursos necesarios, tanto de máquina como hombre, para satisfacer la demanda pronosticada en el tiempo determinado. Igualmente, se debería tener en cuenta la capacidad de bodegaje de la empresa, para poder analizar y restringir la capacidad de pedidos de materia prima y material de empaque. Por último, se podrían considerar otros tipos de pronósticos de demanda que contemplen grandes fluctuaciones en los datos.

8. Glosario:

PyME: (Pequeñas y Medianas Empresas). Es el grupo característico de las pequeñas y medianas empresas las cuales no superan los 200 empleados y sus mayores activos son de 30000 smmlv. [26]

DOFA: (Debilidades - Oportunidades - Fortalezas - Amenazas). Este análisis permite establecer las limitaciones y ventajas provenientes tanto del entorno como de la realidad interna de una organización y que podrían incidir en el cumplimiento de su misión, la preservación de su identidad y el logro de la visión. [27]

MPS: (Master Production Schedule o Plan Maestro de Producción). Tabla de tiempo donde se especifica qué hacer y cuándo hacerlo. [10]

MRP: (Material Requirements Planning). Es un modelo que atiende las necesidades de una planeación adecuada del suministro de materiales. Utiliza información de la lista de materiales (BOM), datos de inventario y el plan maestro de producción para calcular los materiales requeridos y cuándo serán necesarios durante el proceso de fabricación. [29]

BOM: (Bill of Materials). Explosión de materiales en los bienes producidos para conocer los requerimientos netos en las órdenes de producción de cada una de las referencias manejadas por las compañías. [7]

Requerimientos brutos de materiales: Indican la cantidad de materiales necesarios necesarios para producir un número determinado de unidades. Por lo tanto, estos requerimientos están sujetos a los pronósticos de demanda.

Requerimientos netos de materiales: Resultado de ajustar los requerimientos brutos al inventario disponible y a las recepciones programadas. [10]

Pronóstico de demanda: Proyección del comportamiento de las ventas en un intervalo de tiempo establecido con la finalidad de conocer los requerimientos con anticipación para satisfacer las necesidades de los clientes. [10]

Promedios Móviles: Método de pronósticos que utiliza un promedio de los n periodos más recientes de datos para pronosticar el siguiente periodo. [10]

Suavización Exponencial Simple: Método que calcula el promedio de una serie de tiempo con un mecanismo de autocorrección que busca ajustar los pronósticos en dirección opuesta a las desviaciones del pasado. [30]

Suavización Exponencial Doble: Método que usa una ecuación de tendencia lineal basada en el empleo de dos constantes de suavización: una para estimar el nivel actual de los valores de la serie de tiempo y otra para estimar la pendiente. [31]

Suavización Exponencial Triple: Método que incorpora influencias estacionales en el pronóstico, hace uso de tres constantes de suavización: una para estimar el nivel actual de los valores de series de tiempo, la segunda para estimar la pendiente de la línea de tendencia y la tercera para estimar el factor estacional por emplear como multiplicador. [31]

Método Naive: Modelo que realiza una predicción asumiendo que el valor futuro de la demanda (en el período $t + 1$) coincide con el valor actual (en el momento t). [32]

MAPE: (Error Porcentual Absoluto Medio). Es un indicador del desempeño del pronóstico de demanda que mide el tamaño del error (absoluto) en términos porcentuales. [33]

Gestión de inventarios: Monitoreo de las materias primas e insumos que están involucrados en los procesos productivos de la compañía.

Lote x Lote: Técnica para determinar el tamaño del lote, la cual genera exactamente lo que se requiere para cumplir con el plan. El sistema MRP debe producir unidades solamente cuando se necesitan, sin mantener inventario de seguridad y sin previsión para otros pedidos. [10]

Lead time: Tiempo en que se demora un pedido en estar disponible para su uso desde el momento en que se ordena.

9. Tabla de Anexos

No.	Nombre de anexo	Tipo de archivo	Ubicación de archivo (URL corto)
1	Herramienta basada en modelo MRP	Excel	https://bit.ly/31Zwr7O
2	Implementación herramientas de Ingeniería Industrial	Excel	https://bit.ly/314iKVZ
3	Encuestas evaluación herramienta y nivel de servicio a clientes	PDF	https://bit.ly/34kUDV7
4	Diagrama de revisión literaria acerca de la gestión de inventarios	PDF	https://bit.ly/2ONu2Xz
5	Bill of Materials (Materias primas y Material de empaque)	PDF	https://bit.ly/2Cis3YV
6	Modelamiento matemático	PDF	https://bit.ly/3joVXey
7	Diagrama explicativo del modelo matemático de la herramienta	PNG	https://bit.ly/2ZEJzza
8	Manual de usuario herramienta MRP(Incluye material audiovisual)	PDF	https://bit.ly/3jocAaa
9	Diagrama impactos en el manejo de abastecimiento e inventarios en la empresa	PDF	https://bit.ly/39gi15k
10	Pruebas de rendimiento pronósticos (Simulación y Método Naive)	Excel	https://bit.ly/2E4M85e

Referencias

- [1] Mejía Zapata, Ca Zapata. (28 de junio de 2018). Estudios sobre la Bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia. Obtenido de Anexo 4: Análisis sector cosmético y aseo: https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Bioeconomia/Informe%202/ANEXO%204_An%C3%A1lisis%20sector%20cosm%C3%A9tico.pdf
- [2] RADDAR (Marzo de 2018). Industria cosmética y de aseo retoma su rumbo de crecimiento. Obtenido de: <https://www.portafolio.co/negocios/industria-cosmetica-y-de-aseo-retoma-rumbo-de-crecimiento-515554>
- [3] Torres, M., García, P. (2017). Administración de inventarios, un desafío para las Pymes. Obtenido de: <http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/262/815#fnt11>
- [4] Ramírez, J. (2009). Procedimiento para la elaboración de un análisis FODA como una herramienta de planeación estratégica en las empresas. Obtenido de: <https://www.uv.mx/iiesca/files/2012/12/herramienta2009-2.pdf>
- [5] Miño-Cascante, G., Samuell-Fonseca, E., Toledo-Borrego, A., Roldan-Ruenes, A., Moreno, R. (2015) Materials requirements planning by the MRP system. Case Pharmaceutical Laboratory Oriente. Cuba. Obtenido de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000200007

- [6] Vernadat, R. y. (2016). Enterprise information systems state of the art: Past, present and future trends. Obtenido de <http://doi.org/10.1016/j.compind.2016.03.001>
- [7] Rivera Poma Juan Manuel, O. P. (2014). Diseño e implementación del sistema MRP. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/816/81640856006.pdf>
- [8] Minitab Inc. (2019). Identificar valores atípicos. Obtenido de: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/data-concepts/identifying-outliers/>
- [9] Universidad de Buenos Aires (2005). Identificación de valores atípicos. Obtenido de: http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2005/1/TRANSP2B.pdf
- [10] Render, B., & Heizer, J. (2009). Principios de Administración de Operaciones: Barry Render y Jay Heizer (7a. ed.). México: Pearson Educación.
- [11] Zhu, Y., Zhao, Y., Zhang, J., Geng, N., & Huang, D. (2019). Spring onion seed demand forecasting using a hybrid Holt-Winters and support vector machine model. PLoS ONE, 14(7), 1–18. <https://doi-org.ezproxy.javeriana.edu.co/10.1371/journal.pone.0219889>
- [12] Tiacci, L., & Sietta, S. (2009). An approach to evaluate the impact of interaction between demand forecasting method and stock control policy on the inventory system performances. International Journal of Production Economics. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.08.010>
- [13] Stevenson, M., Hendry, L. C., & Kingsman, B. G. (2005). A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. International Journal of Production Research, 43(5), 869–898. Obtenido de: <https://doi.org/10.1080/0020754042000298520>
- [14] Buitrago Caballero, A. (2018). Mejoras en la comunicación organizacional en empresas familiares del sector cosmético por medio de la implementación del sistema MRP. Pontificia Universidad Javeriana. <http://hdl.handle.net/10554/40442>
- [15] Akinienè, I. y Mankut, edot, R. (2014). ‘The Peculiarities of Material Requirement Planning Computerisation in Furniture Enterprise’, *Mechanika*, pp. 8–13. Recuperado el 26 de Agosto de 2019. <https://search-ebSCOhostcom.ezproxy.javeriana.edu.co/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=97334223&lang=es&site=eds-live>
- [16] Barrios, Y., Fuentes, C. (2017). Aplicación del sistema de planificación MRP II para mejorar la productividad de la empresa Total World Corporation SAC - Lambayaque 2016. Obtenido de: http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/3317/1/barrios_fuentes.pdf
- [17] Frechtling, D. C. (2001). Forecasting tourism demand: Methods and Strategies. Routledge Taylor & Francis Group, 29-30.
- [18] Alcon, A. (2020). *Planeación de requerimientos de materiales (MRP)*. Obtenido de Academia: https://www.academia.edu/32284505/Planeaci%C3%B3n_de_requerimientos_de_materiales_MRP
- [19] MHEDUCATION. *Gestión de Stocks*. Obtenido de: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448199316.pdf>

[20] Nahmias, S. (2007). Costos Relevantes. *Análisis de la producción y las operaciones 5. ed.* (pág. 220). McGraw-Hill Interamericana.

[21] Transeop. (s.f.). Gestión de Inventarios: Indicadores fundamentales. Recuperado el 10 de julio de 2020. Obtenido de: <https://www.transeop.com/blog/control-de-inventarios/386/>

[22] Ochoa, Carlos. (2015) Muestreo probabilístico: muestreo por conglomerados. Recuperado el 18 de agosto de 2020. Obtenido de: <https://www.netquest.com/blog/es/blog/es/muestreo-probabilistico-muestreo-conglomerados>

[23] Slimstock SpA. (03 de Noviembre de 2017). Cómo Calcular los Costos Totales de Inventario. Obtenido de: <https://www.slimstock.com/cl/news/como-calcular-los-costos-totales-de-inventario/>

[24] ISO 25000 (2019). ISO/IEC 25010. Calidad de software y datos. Recuperado el 10 de julio de 2020. Obtenido de: <https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010>

[25] Cortés, M., Rodríguez H. (2011). Trabajo de Grado: Los beneficios de implementar un sistema ERP en las empresas colombianas - Estudio de caso. Recuperado el 17 de agosto de 2020. Obtenido de: https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/2712/19496388_2011.pdf;jsessionid=6B7E3DC40043E76E3AF0E6D451898438?sequence=1

[26] Congreso de Colombia. (2 de agosto de 2004). Ley 905 de 2004. Recuperado el 17 de junio de 2020. Obtenido de: <https://www.grupobancocolombia.com/wps/portal/negocios-pymes/actualizate/legal-y-tributario/todo-sobre-las-pymes-en-colombia>

[27] Universidad de Chile. Capítulo 3. Análisis FODA. Obtenido de: <http://web.uchile.cl/facultades/filosofia/Editorial/documenta/preplanif/Capitulo3.htm>

[28] Deloitte. (s.f.). Normas Internacionales de Información Financiera. Recuperado el 17 de junio de 2020. Obtenido de: https://www2.deloitte.com/co/es/pages/ifrs_niif/normas-internacionales-de-la-informacion-financiera-niif---ifrs-.html#

[29] TechTarget. (2020). Material Requirements Planning. Recuperado el 17 de junio de 2020. Obtenido de: <https://searcherp.techtarget.com/definition/material-requirements-planning-MRP>

[30] Salazar, B. (2019). Pronóstico de la demanda - Suavización Exponencial Simple. Recuperado el 17 de junio de 2020. Obtenido de: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/pronostico-de-la-demanda/suavizacion-exponencial-simple/#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20de%20suavizaci%C3%B3n%20o,a%20las%20desviaciones%20del%20pasado>

[31] Rivera, J., Romero, D., Mercado, F., Olivares, C. (s.f.). Estadística para la Administración. <http://www.virtual.sepi.upiicsa.ipn.mx/mdid/anasetie.pdf>

[32] Capítulo 14. Una visión general de las técnicas de simulación y predicción. (s.f.). Obtenido de: <http://www.econometricos.com.ar/wp-content/uploads/2010/03/14-2012-IE-14.pdf>

[33] GEO Tutoriales. (26 de enero de 2015). Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE) en un Pronóstico de Demanda. Recuperado el 17 de junio de 2020. Obtenido de:
<https://www.gestiondeoperaciones.net/proyeccion-de-demanda/error-porcentual-absoluto-medio-mape-en-un-pronostico-de-demanda/>