

[191027] Mejoramiento de la cadena de suministro de
una PYME de la industria láctea mediante la planeación de
la producción, manejo de inventarios y distribución de
producto terminado.

Luis Francisco Acevedo Quintero^{a,c}, Camilo Jaimes Ramírez^{a,c}, Juan Pablo Prada
Rodríguez^{a,c}, Laura Valentina Usaquén Góngora^{a,c}
Yenny Alexandra Paredes Astudillo^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

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

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Resumen de diseño en Ingeniería

Small companies tend to develop their different processes empirically, for example, is the case of the company in which in the present work was developed, Lácteos Simijacá. In this case, the company carries out this type of management, which produces that, its resources are not used to the maximum, causing unnecessary costs both economic and image. Because sometimes, they either don't meet the demand or have too much raw of material, which in this case is milk, they have a hard time collecting. They must sell or throw away in the worst case. Since milk is a perishable product and has a careful handling. It should be made clear that the failure to meet demand, as it is not enough to produce what is necessary to meet it, or it is not possible to deliver the order on time, generates unnecessary costs, waste and non-compliance that might be avoided and that may become critical to the Customer-Company relationship.

In order to avoid this type of costs for the company, it is decided design and develop two applications. Firstly, seeks to develop a production plan, so the company knows how much it can make with the milk it collected, or how much milk it must collect to the demand. Moreover, it assesses whether it is better in terms of costs for the company to buy milk at a higher price or stop manufacturing and non-compliant with orders. On the other hand, the second application generates a route to distribute the finished product to customers for each truck at lower cost.

For the production application, input data id required such as the demands for each day of delivery (Tuesdays and Fridays), and the quantity of milk collected daily. For this, a heuristic was designed that allows to know how much milk is missing or left over for each day of delivery and use all the milk. That is to say, to avoid not being able to produce what is necessary to meet demand, or to collect more milk than the company can process. In other words, avoid not being able to produce what is necessary to meet demand, or to collect more milk than the company can process.

On the other hand, for the finished product distribution application, input data is required such as the demand for each product per customer, and the maximum time that the customer receives for the order. Due to this situation, a heuristic

was developed where the route is formed in the way you might go looking for the nearest destination that meets the restrictions. Such as the time window required by the customer and the capacity of the trucks. All of this, in order to reduce the distance from the route and also the costs involved on it.

Finally, a heuristic for forecasts is developed. This allows to choose the method suit with the historical data of the demand and milk harvest. This is the best Mean Absolute Percentage Error (MAPE). These data are used as input data for the production and distribution application.

With respect to the restrictions presented by the designs, the following are established: 1) In order to visualize the routes. It is necessary previously enter the data in the application to the number of Customers, with their respective address and km between customers. In addition to demand data and data concerning trucks, quantity, capacity and the maximum time of arrival, if it does; 2) The capacity of the winery will be an input parameter for production planning and inventory management; the database needs to be updated by the company each time the application is to be released.

Standards that comply with applications are governed by ISO-9126, which specifies requirements such as functionality, reliability, usability, efficiency, maintenance and portability.

To verify that the applications produce a solution according to the objective, it would be tested by entering the current data and calculating the respective costs. Then, make a comparison between the current scenery and the proposed. Where costs are assessed in both situations and it is evidenced. The application provides a better solution than what the company currently does.

In the case of production, an income of 17% is generated, equivalent to \$7.960.994. While on the routing you get savings for \$94.770,08 by each route equivalent to 5,42%.

1. **Justificación y planteamiento del problema**

El consumo de queso en Colombia está en aumento, su comercialización pasó de 45.100 a 54.700 toneladas en el periodo 2011-2016, reflejando un crecimiento del 21,6%. Además, la variedad de quesos más consumida es la de los frescos, donde se destacan el campesino y el doble crema (Asoleche, 2017). Teniendo en cuenta lo anterior, las empresas que producen este derivado lácteo deben aprovechar el crecimiento de la demanda para ampliar su participación en el mercado y generar más utilidades.

Este crecimiento fue aprovechado por empresas como Colanta y Alpina, que lideran en ventas con 2,07 y 2,03 billones respectivamente. Estas empresas tuvieron una variación porcentual en ventas del 2,2% y 9,95% (Palacios, 2016) respectivamente, en el intervalo de años mencionado anteriormente. Debido a esto, competir con empresas de gran tamaño resulta difícil para las pequeñas empresas, por lo cual, la producción y comercialización eficaz y eficiente es un factor relevante a tener en cuenta para poder responder a la pequeña participación del mercado restante.

Para el presente trabajo de grado se tomará como caso de estudio la empresa Lácteos Simijacá. [Esta compañía hace parte de las pequeñas empresas de este sector o de este mercado, debido a que la planta cuenta con una cantidad de colaboradores que oscila entre once \(11\) y cincuenta \(50\)](#), y sus activos se encuentran entre quinientos uno (501) y cinco mil (5000) salarios mínimos legales vigentes (Congreso de Colombia, 2004). Actualmente, la empresa busca un mayor posicionamiento en el mercado, esto mediante la mejora de sus procesos logísticos y productivos, teniendo en cuenta la gestión de inventarios, la planeación de producción y el funcionamiento óptimo del sistema de distribución.

La empresa maneja dos líneas de productos, la primera es de quesos frescos tales como: doble crema, campesino, ricota, quesillo y cuajada. La segunda se centra en esparcibles como crema de leche y mantequilla. Estos productos le han permitido a la compañía permanecer y competir en el mercado, afianzando su relación con sus clientes con el objetivo de fidelizarlos. Debido al aumento de su participación en el mercado y a las exigencias de sus clientes, los niveles de producción y la complejidad de los procesos se han visto obligados a una mejora continua. Sánchez y Vianchá (2014) afirman:

La dinámica de los mercados ha hecho que las empresas se adapten a diferentes configuraciones al mismo tiempo, para lograr sostenerse en redes altamente dinámicas con diferentes modos de cooperación, control y coordinación. Este comportamiento requiere el diseño de configuraciones personalizadas y, posteriormente, de ingeniería de sistemas de información que les permitan a las cadenas de suministro (CS) responder a las características específicas de los alimentos y los territorios donde se producen (p.8).

Actualmente, la empresa Lácteos Simijacá se encarga de desarrollar todas las actividades de la cadena de suministros (CS), desde la recolección de materia prima (MP), la cual es obtenida por medio de los campesinos que residen en zonas aledañas, hasta la entrega del producto final a los clientes.

Uno de los procesos más importantes en la empresa es la producción de quesos. Cuando se lleva a cabo la elaboración de estos productos no se cuenta con un seguimiento sistemático, carece de factores claves que establecen un buen desarrollo. Además, las áreas de una organización deben tener la capacidad de planear, organizar, dirigir, coordinar y controlar (Dávila, 2001). Lácteos Simijacá tiene deficiencias en estos factores, específicamente en la planeación, coordinación y control del proceso productivo, esto debido a que todas las decisiones pasan previamente a ser evaluadas y aprobadas por el Gerente General, ya que él es el único que conoce el correcto funcionamiento de los procesos. De acuerdo a lo anterior, se generan fallos en el proceso productivo cuando él no se encuentra.

Por otra parte, el lugar no se encuentra con la infraestructura necesaria para el almacenamiento de la MP principal; la cantidad de leche recolectada en el día pasa directamente al proceso de producción, cabe mencionar que la leche que no se utiliza, se intenta vender para no ser desechada. Por lo que pronosticar la cantidad de leche necesaria para responder a la demanda es importante para evitar desperdicios o faltantes de MP al momento de realizar este proceso. Lo anterior, ya que la empresa no cuenta con dicho factor al momento de llevar a cabo la producción.

Según Varela (2019), en los meses con menor precipitación pluvial se recolecta un 20% menos de leche, afectando directamente la fabricación de queso. Los meses en los cuales se presenta dicha disminución en la región son enero, julio, agosto y diciembre, estos se categorizan como críticos en cuanto a la recolección (IDEAM, 2014). La empresa al verse afectada por esta situación opta por comercializar menos cantidad de productos a sus clientes, incumpliendo así con la demanda.

Además del proceso de producción, la distribución de los productos es una actividad relevante de la empresa. Para llevar a cabo las ventas, se realiza la distribución a cada uno de los clientes ubicados en la ciudad de Bogotá. Dicho proceso se realiza intuitivamente dos veces por semana desde tempranas horas de la mañana, utilizando dos camiones de seis y dos toneladas respectivamente, los cuales deben mantener la cadena de frío para que el producto llegue en perfectas condiciones al cliente. Sepúlveda, Escobar y Jaimes (2014) afirman que cuando las compañías planean intuitivamente, sin usar metodologías cuantitativas, obtendrán resultados insatisfactorios o no competitivos que pueden afectar su rentabilidad y competitividad. La empresa al realizar la ruta de distribución de los productos tiene en cuenta las ventanas de tiempo como

restricción para la asignación del orden de entrega. Aquellos clientes que exigen la entrega en un horario específico tienen prioridad al momento de hacer el respectivo despacho, ya que al incumplir con dicha ventana, los clientes no reciben el pedido. Por ende, Lácteos Simijacá programa los horarios de entrega con una hora o más de anterioridad para salir hacia los destinos.

La empresa prefiere esperar largos periodos de tiempo, que incurrir en entregas tardías, la cantidad de tiempos muertos al esperar la hora establecida por cada cliente aumenta. En promedio el 30% de los clientes establece una ventana de tiempo para la recepción de producto. De igual manera, el costo de mano de obra de los conductores aumenta ya que el tiempo de trabajo del conductor es remunerado por hora.

Ahora, ya habiendo contextualizado los procesos de la empresa, es importante resaltar que no se han realizado análisis desde la ingeniería industrial, con el objetivo de mejorar los procesos de la empresa. Es por esto que se identifican opciones de mejora en el proceso de producción, esté enfocado en tener un control de la MP que ingresa al proceso y la cantidad de producto terminado que resulta al final de este. Además, el proceso de distribución depende del conocimiento del conductor lo cual restringe el proceso a dicha capacidad; mediante herramientas de ingeniería es posible obtener un mejoramiento en las rutas y un cumplimiento total de los requisitos del cliente respecto a la hora de llegada.

Reconociendo dichos problemas ¿Qué herramientas de ingeniería industrial se deberían usar con el fin de mejorar el proceso de planeación de la producción y el proceso de distribución de producto terminado?

2. Antecedentes

Toda empresa debe garantizar que su CS tenga óptimas condiciones para poder competir en el mercado. Mentzer *et al.* (2001) afirman que “La CS es un conjunto de 3 o más entidades donde participan flujos ascendentes y descendentes de productos, servicios, finanzas e información” (p.4). Esta busca entregar el producto final adecuado al consumidor. (Sánchez y Vianchá, 2014). Los elementos que componen la CS son las áreas de abastecimiento, producción y de logística, áreas en donde las compañías presentan inconvenientes debido a la cantidad de variables que afectan su comportamiento. Sin la ayuda de herramientas y métodos, la solución de dichas problemáticas se torna compleja.

En las cadenas de suministro alimentarias (CSA) se tienen diferentes factores que afectan de manera determinante su gestión, como lo son las restricciones de calidad, la seguridad alimentaria, el rendimiento de los cultivos, los volúmenes de entrada de MP, los tiempos máximos de entrega y el manejo correcto de los ciclos de vida del producto, debido a sus características perecederas. Para evitar problemas, van der Vorst, van Dijk y Beulens (2001) y Ahumada y Villalobos (2009) proponen que el mejor enfoque es la programación lineal. En especial cuando se tiene un alto conocimiento de los valores de los parámetros necesarios.

Actualmente las CSA se categorizan en: impulsada por la demanda (se organizan por medio de acuerdos entre productores y demandantes)(Lambert y Garcia, 2005); impulsada por el productor (los agricultores son responsables de la calidad de los productos, pero se presenta gran competencia de precios y alta intermediación) (Lee, Gereffi y Beauvai, 2012); acuerdos bilaterales, (principalmente entre grandes productores y empresas), y mercados tradicionales (especialmente para responder al mercado interno). Por otra parte, Carrillo, Fiorillo y García (2002) plantean tres configuraciones para pequeñas CSA. El enfoque face-to-face (los consumidores compran directamente al productor), la proximidad geográfica (los productos

son producidos y vendidos en el lugar de producción) y las geográficamente extendidas (el producto se envía a consumidores fuera de la región).

Para el mejoramiento de las CSA existen dos tipos de modelamiento, los de gestión y los operativos. Autores como Lambert y Cooper (2000) plantean dos tipos de modelos de gestión. El primero según Sánchez y Vianchá (2014) es el modelo de referencia de operaciones de la CS (SCOR). El segundo modelo es el propuesto por el Foro Mundial de la CS. Este modelo tiene una perspectiva estratégica-administrativa y tiene como objetivo la integración de todas las áreas inmersas en la elaboración del producto o servicio (Fine, 2000).

Los modelos operativos se dividen en dos tipos, los determinísticos y los estocásticos, la selección de alguno de estos está determinada por la medida en que se conozcan los valores de entrada (Parámetros)(Sánchez y Vianchá, 2014). Autores como Ahumada (2009), proponen diferentes tipos de metodologías para los modelos operativos cuando se tienen datos determinísticos. La implementación de programación lineal (LP), programación dinámica (DP), programación entera mixta (MIP) y programación de metas (GP), obtienen mejores resultados. Por el contrario, para parámetros variables o estocásticos, metodologías como programación estocástica (SP), programación dinámica estocástica (SDP), simulación (SIM) y programación de riesgo (PR) son herramientas que garantizan buenos resultados.

El modelamiento de la CSA es un problema que se ha abarcado desde el siglo pasado gracias a estudios que buscan políticas óptimas para el manejo de todas las ramas presentes (Clark y Scarf, 1960). Desde entonces, se han desarrollado modelos enfocados en diferentes problemas de la CSA. En cuanto al manejo de la MP, Pike y Cohen (1994) propusieron una cadena de Markov para un modelo de tres niveles para un sistema de producción y distribución. Un método que abarca en gran medida todas las variables que una CS puede tener es el desarrollado por Subbaiah, Narayana, y Nookesh (2009), el cual, plantea un sistema multi-objetivo, para reducir los costos a partir del establecimiento de un modelo matemático lineal en las áreas de producción y distribución. El modelo fue aplicado en una empresa láctea en Andhra Pradesh, India, con restricciones orientadas a la conservación del flujo del proceso, de inventario y de producción. Teniendo en cuenta variables como la cantidad de lo producido, las cantidades de MP necesarias en aprovisionamiento y las cantidades de producto distribuido para cada cliente. El resultado fue una reducción en los costos totales.

Por otro lado, Ashtiani y Mohammadipour (2012) plantean un modelo de programación lineal en una empresa Iraní de lácteos, este modelo considera aspectos como la demanda del producto, las ventas y el equipamiento para la producción. Se presentan restricciones de cantidad de MP, tasas de producción constantes, capacidad límite en las instalaciones e igualdad de proporción en ciertos componentes de los alimentos. El desarrollo del modelamiento, tenía como objetivo maximizar la ganancia en un año. Este arrojó mejores resultados de los conocidos, según datos históricos.

Estudios realizados por Farahani, Grunow, y Günther (2012) en una empresa que maneja alimentos perecederos en Copenhague, Dinamarca que buscaba la mejora de la producción y la distribución, implementaron MIP y búsqueda de vecino más cercano (LNS) respectivamente. Se manejaron los siguientes supuestos: la distribución se desarrolla sin ningún intermediario; el costo del transporte está basado en las distancias y en entregas; los clientes tienen un horizonte de tiempo en el cual las pueden recibir. Los objetivos propuestos para la implementación es poder minimizar los costos de producción, disminuir la cantidad de productos que no poseen los estándares de calidad y desarrollar un calendario de producción y distribución que le permita a la organización cumplir con los horizontes establecidos por los clientes, este último por

medio de la metodología de enfoque de modelado jerárquico (HMA). El proceso de desarrollo se hizo de manera conjunta con las metodologías mencionadas y como resultado se lograron los objetivos propuestos.

Mendoza, Fontalvo y Visbal (2014) diseñaron un modelo de CDS para minimizar costos y reducir el lead time, abarcando este problema desde una perspectiva multiobjetivo, enfatizando en que los problemas de optimización multiobjetivo son problemas que presentan dos o más funciones objetivo. A diferencia con los problemas mono-objetivo, que pueden alcanzar la solución óptima, los multiobjetivo no tienen solución óptima, debido que no existe una solución que sea la mejor respecto a todos los objetivos e incluso pueden existir conflictos entre los objetivos. Una solución puede ser mejor en un objetivo, pero peor en otros. (Pradenas y Matamala, 2012).

Otra metodología utilizada para el mejoramiento de la CS es la implementación de algoritmos genéticos. Wu, Dong y Yang (2011) desarrollan un algoritmo genético para optimizar las principales medidas de rendimiento de una empresa y reducir costos. Con el algoritmo que proponen logran comprobar que este opera efectivamente en casos de diferentes escalas de problemas.

Por otro lado, la demanda es un factor importante. Esta se encarga de suministrar la información básica a las organizaciones de cuánto producir. Esta es un evento desconocido debido a sus características futuras en el tiempo, su exacta determinación es incierta. Frente a esto, Contreras, Atziry, Martínez y Sánchez (2016) presentan una metodología denominada “Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos”; la metodología consiste en aplicar técnicas de pronósticos cuantitativos como promedio móvil simple, promedio móvil ponderado, suavización exponencial y suavización exponencial ajustada, con base en datos históricos del comportamiento de ingresos y egresos. El resultado de la investigación redujo la incertidumbre en las operaciones y permitió una planeación más detallada de la producción.

La gestión de la CS, también enfrenta problemáticas en cuanto al área de la logística. La ubicación de la planta de producción y de posibles nuevos centros de distribución (CD), las políticas de manejo de inventarios, la definición de modos de transporte y la gestión de la flota de distribución (VFM). En cuanto al ruteo es importante implementar un sistema que permita tener tiempos eficientes en la recolección de la MP. Chen y Sarker (2014), proponen una metodología que abarca un modelo de inventario junto a un plan de ruteo para la recolección de la MP. El objetivo era determinar el tamaño de pedido y ruta óptima, minimizando los costos totales. Para esto se plantearon supuestos, como: el proveedor utiliza una política de entrega just in time (JIT) y la empresa tiene un sistema de recolección de múltiples proveedores en un viaje. Como variables se plantearon: los proveedores que compartirán ruta, el tamaño de producción, el número de rutas, la cantidad óptima a pedir y la del tiempo entre pedidos. El modelo se desarrolló por medio de programación mixta no lineal para la obtención de unos primeros resultados, siguiente a esto, se implementaron meta-heurísticas para encontrar mejores soluciones. De esta manera se cumplió el objetivo.

Manzini, Accorsi, & Bortolini (2014), de igual manera proponen dos metodologías para abordar los problemas de la distribución con el objetivo de minimizar los costos, estratégica y táctica. Para la estratégica se plantea un modelo MIP para la gestión de inventarios y el ruteo; en cuanto a la táctica los modelos a utilizar son los mismos, la diferencia radica en la cantidad de restricciones que poseen, siendo esta última la de mayor cantidad. Ambas metodologías son aplicadas a dos empresas totalmente diferentes, la primera es una empresa que tiene únicamente operaciones nacionales con más de 20 clases de productos, cinco plantas de producción y 10 centros de distribución. La segunda empresa tiene condiciones similares y además un

campo de acción internacional. La implementación de MIP en ambas empresas tuvo como resultado reducciones en los costos.

Con las investigaciones planteadas anteriormente, se evidencia como la gestión de la cadena de suministro alimenticia es de vital importancia en cuanto a la estructuración de todos sus componentes y como herramientas de modelamiento matemático permiten encontrar soluciones o mejoras en caso de que no se hayan aplicado previamente. Modelos para la toma de decisiones como la programación lineal y la MILP (programación lineal entera mixta) son los más utilizados en el sector lácteo debido a la exactitud de sus resultados y su capacidad de adaptarse a las restricciones que estos presentan en las diferentes áreas de la CSA.

3. Objetivos

Desarrollar una propuesta que permita mejorar el desempeño de la cadena de suministro de la empresa Lácteos Simijacá a través del diseño y el desarrollo de un modelo de planeación de la producción, manejo de inventarios y distribución de producto terminado a sus clientes, con el fin de minimizar el número de faltantes a menor costo.

1. Diseñar y desarrollar un modelo para la planeación de producción y la gestión de inventarios, de manera que se minimice el número de faltantes a menor costo.
2. Diseñar un aplicativo que determine la ruta que los vehículos deben seguir para entregar los pedidos a los clientes, esto para minimizar costo de transporte y cumplir con los tiempos de entrega.
3. Desarrollar un pronóstico de la demanda que permita validar los modelos propuestos comparando el escenario con el actual.

4. Cuerpo del documento

El procedimiento metodológico se estructuró de acuerdo a los objetivos específicos formulados.

- **Diseñar y desarrollar un modelo para la planeación de producción y la gestión de inventarios, de manera que se minimice el número de faltantes a menor costo.**

El aplicativo de producción, empieza leyendo los datos de recolección de leche y de las demandas para ambos días de entrega (martes y viernes) en todo el horizonte de planeación. Para los pedidos del día martes, hay recolección de leche y se pueden producir los distintos tipos de quesos los días jueves, viernes, sábado y domingo de la semana anterior, y para los pedidos del viernes se recolecta y se produce los días lunes, martes y miércoles de la misma semana. La distribución y la cantidad de días de producción para cada día de entrega, depende de la demanda. En donde, los martes la demanda es mayor a la de los viernes. Adicionalmente, no se tiene en cuenta el día anterior al día de entrega para realizar la producción de cada pedido.

Los pedidos, se obtienen en libras. Dichas libras se convierten en Litros de Leche con el objetivo de calcular la cantidad de leche necesaria para producir cada tipo de queso. Seguido a esto, se plantea y desarrolla una heurística de optimización de recursos. Esta, determina para cada día de entrega la cantidad de leche que pueda sobrar o faltar. **El adicional o faltante se calcula con la siguiente fórmula:**

$$A_{ij} = X_{ij} - \sum_k Y_{ijk} \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J$$

Siendo X_{ij} la cantidad de leche recolectada para el pedido i en la semana j ; Y_{ijk} la cantidad de leche necesaria para producir el pedido i en la semana j de los quesos k ; y A_{ijk} siendo la cantidad de leche adicional o faltante del pedido i de la semana k . Si la variable A_{ijk} es positiva se genera un adicional de leche, en caso de que sea negativa se genera un faltante de leche para ese pedido i de la semana j . Si hay un adicional de leche, esa cantidad es asignada al queso con mayor cantidad de demanda, con el objetivo de anticipar y disminuir la carga de leche para ese queso en el próximo pedido.

Esta herramienta usa los sobrantes de leche con el fin de minimizar la cantidad de leche no aprovechada, para así evitar su venta al no ser utilizada y tener mayor posibilidad de cumplir con las órdenes de demanda. Los resultados de esta metodología son nuevas demandas para todo el horizonte de planeación. Teniendo en cuenta lo anterior se presentan dos soluciones. La primera solución, es que no haya faltantes de leche para ningún pedido. La cual procede a realizar la planeación de producción diaria para los pedidos del horizonte, sin exceder la restricción de capacidad. En cuanto a la segunda solución, se presentan faltantes y se procede a realizar una metaheurística poblacional utilizando un algoritmo genético (AG).

Los AG son metaheurísticas poblacionales, los cuales función con el mismo concepto de la selección natural. Según (Solano-Charris, 2008), los AG se definen como métodos adaptativos que se emplean principalmente para la resolución de problemas de búsqueda y optimización. Se enmarcan dentro de la rama de inteligencia artificial conocida como computación evolutiva o algoritmos evolutivos. Esta rama trata el estudio de los fundamentos y aplicaciones de técnicas heurísticas de búsqueda que emplean los principios de la evolución natural. Estos algoritmos trabajan con una población de soluciones (cromosomas), denominadas individuos, estos procesan toda la información genética que cada uno tiene, con el objetivo de aplicar un proceso de selección y procesos de mejora de los individuos a lo largo de las distintas generaciones de la población obteniendo al final al individuo con mejor solución al problema establecido.

El desarrollo de un AG posee los siguientes conceptos básicos:

- Solución o cromosoma: Configuración compatible con las restricciones del problema y que le da solución. (Asensio, 2009)
- Individuo: Equivalente analógicamente a solución o c. (Asensio, 2009)
- Espacio de soluciones: Conjunto de todas las posibles soluciones a un problema determinado que es posible alcanzar con el sistema de resolución empleado. Equivale a espacio de individuos. (Asensio, 2009)
- Población: Conjunto de individuos existentes en un momento (iteración) dado. En adelante denotado por P. (Asensio, 2009)
- Generación: Proceso de creación de nuevos individuos. También se emplea como sinónimo de población. (Asensio, 2009)
- Función objetivo o función de evaluación : Función empleada para evaluar la calidad de las soluciones. Analógicamente mediría la adaptación de los individuos a su entorno.
- Gen: Analogía natural de cada uno de los elementos que conforman la cadena o cromosoma que representa un individuo. (Asensio, 2009)
- Alelo: Valor que puede adoptar un gen. (Asensio, 2009)
- Genotipo: Se emplea para denotar el contenido genético de un individuo, es decir, el cromosoma que lo codifica. (Asensio, 2009)
- Medio externo: Entorno en el que se desarrollan y compiten los individuos. (Asensio, 2009)
- Fenotipo: Características físicas de un individuo determinadas por su genotipo y las condiciones del medio externo. (Asensio, 2009)

Este tipo de metaheurística, independiente de su planteamiento, poseen una estructura definida. Según El-Ghazali (2009) y Hernández (2012) los pasos para el correcto desarrollo de un AG son los siguientes:

1. Codificación de las soluciones o cromosomas
2. Creación de la población inicial.
3. Funcion de evaluacion
4. Criterios de selección
5. Criterio de mutación.
6. Criterio de reemplazo.
7. Criterio de parada.

Codificación de las soluciones

Existen diversas metodología para la codificación de las soluciones. Según García, Servent y Pasquini. (2003), los AGs no tienen restricciones en cuanto a la forma que deben adoptar los genes. Estos pueden representarse como cadenas binarias, números enteros, números reales o estructuras más complejas, como es el caso de la representación por árbol. El empleo de cadenas binarias es la más utilizada, esto por su simplicidad de programación. Pero para el caso de estudio la representación elegida es el árbol, Imagen 1, esto por su diseño estructural de programación y a la facilidad que este permite en el cruce de individuos.

Para el caso de estudio la programación del AG se desarrolla en VBA, en donde la codificación de los genes de cada individuo se realiza por medio de una estructura de datos. Como criterio inicial para el AG, se tiene un presupuesto que la empresa determina para la compra de leche en todo el horizonte de planeación. Esta cantidad será una característica global para todos los individuos de la población.

Los genes establecidos para un individuo (como ejemplo, siendo P1 el padre 1 y P2 el padre 2) son los siguientes:

1. Pedidos a los cuales se le destina compra de leche para cada semana.

	P1	P2
Sem 1	1	0
Sem 2	0	0
Sem 3	0	1
Sem 4	1	1

2. Cantidad de leche a comprar para cada pedido.

	P1	P2
Sem 1	2000	0
Sem 2	0	0
Sem 3	0	3000
Sem 4	5000	4000

$$\sum_i X_i = P/C$$

Siendo X_i la cantidad de leche a comprar por pedido i , P el presupuesto establecido para la compra de leche y C el costo por litro de leche.

3. Secuenciación de atención de cada pedido para el horizonte de planeación.

P1	3
P2	0
P3	0

P4 0
P5 0
P6 1
P7 2
P8 4

4. Días de compra de leche para cada pedido, según las reglas de producción.

	LN	MT	MI	JV	VS	SB	DM
P1	0	0	0	250	1000	250	500
P2	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0
P5	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	1000	250	450	1300
P7	2500	1000	1500	0	0	0	0
P8	0	0	0	600	400	300	2700

$$Y_i = \sum_j LC_j \quad \forall j \in PP$$

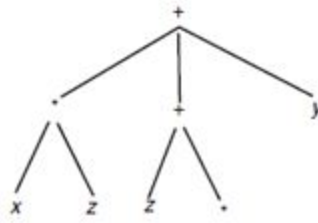
Siendo Y_i la cantidad de leche necesaria para producir el pedido i , LC_j la cantidad de leche comprada el día j y PP el conjunto que contiene los días destinados a la producción de cada pedido.

5. Orden de atención de producción de quesos (Q1,Q2,Q3,Q4) para cada pedido.

	Q1	Q2	Q3	Q4
P1	1	2	3	4
P2	2	1	3	4
P3	4	1	2	3
P4	1	4	3	2
P5	1	4	2	3
P6	3	4	2	1
P7	3	1	2	4
P8	4	3	2	1

La representación de cada individuo es similar a la siguiente estructura:

Imagen 1. Representación individuo



Fuente: Los autores.

Creación de la población inicial

Teniendo establecida la codificación de las soluciones, se procede a crear la población inicial. La población puede ser generada aleatoriamente o por medio de una heurística, donde la elección de alguno de los dos métodos debe garantizar que la población esté dispersa en el espacio de búsqueda (Hernández, 2012).

Para el caso de estudio se estableció una población inicial, y constante a lo largo de las generaciones, con un tamaño de 50 individuos. Según Alander (1992), este tamaño de población es uno de los más usados y de igual manera garantiza el correcto funcionamiento del algoritmo.

Funcion de evaluacion

Es la función que evalúa a cada cromosoma asignando, un valor que lo diferencia de las demás cromosomas. El objetivo de esta función es garantizar que cada individuo posea un valor, que este sea factible y adicionalmente conocer cuáles de estos son los más aptos, es decir, los que mejor fitness posean. Según Solano-Charris (2008), un buen diseño de la función de la adaptación resulta importante para el correcto funcionamiento de un AG. Esta función determina el grado de adaptación cada individuo al problema y por lo tanto permite distinguir a los mejores individuos de los peores. A esta puntuación en función de su proximidad a la mejor solución del problema se le denomina fitness. Para el caso de estudio el fitness se calcula de la siguiente manera:

$$Fitness = U - VP$$

Siendo U la utilidad del horizonte de planeación y VP las ventas perdidas del horizonte de Planeación.

Criterios de selección y cruce

Una vez establecido el fitness de cada individuo, la población es sometida a un proceso de selección. En este proceso se escoge el grupo de soluciones que harán parte de la siguiente generación. Según Solano-Charris (2008), la selección es el mecanismo por el cual las soluciones más próximas al óptimo (individuos mejor adaptados) tienen mayor probabilidad de sobrevivir y ser elegidas (seleccionadas) para reproducirse. Existen diversos métodos de selección, según El-Ghazali (2009) (p.206), estos son: selección por ruleta, selección por torneo, elitismo y selección basada en el rango.

Para el caso de estudio se utilizan dos métodos de selección, el primero es el elitismo el cual garantiza que el mejor individuo de la generación sea seleccionado como padre. Este primer individuo es sometido a un proceso que determina si se realiza un cruce con otro individuo de la población ($P_c=0,9$) o muta ($P_m=0,1$).

Por otro lado, En caso de que el proceso sea cruce, el padre número 2 se selecciona con base en el método de ruleta, el cual le asigna a cada individuo una probabilidad de ser elegido dependiendo de su fitness. Teniendo ambos padres estos intercambian información genética de los genes. EL primer gen es *pedidos a los cuales se le destina compra de leche para cada semana* (La selección de los pedidos que intercambiarían información se realiza de manera aleatoria), ambos padres intercambian dichos valores y de igual manera

intercambian en el gen de *secuenciación de atención de cada pedido para el horizonte de planeación* debido a que ambos genes se encuentran relacionados y la *cantidad de leche a comprar para cada pedido*.

Seguido a esto los hijos desarrollan el gen de *secuenciación de atención de cada pedido para el horizonte de planeación* de manera aleatoria teniendo en cuenta el cruce de genes anterior y posteriormente el gen de *días de compra de leche para cada pedido*. Como resultado de este proceso, nacen dos nuevos individuos, los cuales comparten información genética de ambos padres.

Representación de cruce:

	Padre 1			Padre 2	
	P1	P2		P1	P2
Sem 1	1	0	Sem 1	1	1
Sem 2	0	0	Sem 2	1	1
Sem 3	0	1	Sem 3	0	0
Sem 4	1	1	Sem 4	1	0

Se intercambia gen sem 2 y sem 3.

	Hijo 1			Hijo 2	
	P1	P2		P1	P2
Sem 1	1	0	Sem 1	1	1
Sem 2	1	1	Sem 2	0	0
Sem 3	0	0	Sem 3	0	1
Sem 4	1	1	Sem 4	1	0

El hijo número 1 toma los valores del gen *Cantidad de leche a comprar para cada pedido* del padre 1. La cantidad faltante de leche con respecto a la comprada en el horizonte de planeación es asignada de manera aleatoria teniendo en cuenta su nuevo gen de *Pedidos a los cuales se le destina compra de leche para cada semana*, este a su vez se relaciona con el gen de *Días de compra de leche para cada pedido, según las reglas de producción*, obteniendo los mismo valores del padre y llenando de manera aleatoria los pedidos faltantes.

Para el caso del hijo 2 funciona de la misma manera pero obteniendo los genes del padre 2.

En cuanto a el gen de *Secuenciación de atención de cada pedido para el horizonte de planeación*, cada hijo lo genera de manera aleatoria teniendo como base los genes anteriormente descritos.

Finalmente, el gen de *Orden de atención de producción de quesos para cada pedido*, para el hijo 1 en las semanas seleccionadas toma los valores del padre 1 y en las semanas restantes los del padre 2. Para el hijo 2 el proceso es inverso.

	Padre 1					Padre 2			
	Q1	Q2	Q3	Q4		Q1	Q2	Q3	Q4
P1	1	2	3	4	P1	1	2	3	4
P2	2	1	3	4	P2	4	3	2	1
P3	4	1	2	3	P3	4	1	2	3
P4	1	4	3	2	P4	1	4	3	2
P5	1	4	2	3	P5	2	4	1	3
P6	3	4	2	1	P6	3	4	2	1
P7	3	1	2	4	P7	3	1	2	4
P8	4	3	2	1	P8	1	4	2	3
	Hijo 1					Hijo 2			

	Q1	Q2	Q3	Q4		Q1	Q2	Q3	Q4
P1	1	2	3	4	P1	1	2	3	4
P2	4	3	2	1	P2	2	1	3	4
P3	4	1	2	3	P3	4	1	2	3
P4	1	4	3	2	P4	1	4	3	2
P5	1	4	2	3	P5	2	4	1	3
P6	3	4	2	1	P6	3	4	2	1
P7	3	1	2	4	P7	3	1	2	4
P8	1	4	2	3	P8	4	3	2	1

Con los nuevos hijos generados, cada uno pasa a ser evaluado por la función de evaluación, con el objetivo de poder determinar su fitness.

Criterios de mutación

El proceso de mutación es el encargado, de igual manera de la generación de la población, de garantizar la diversificación en los individuos. La Pm utilizada en el caso de estudio fue de 0.1 ya que según, Greenwell, Angus, y Finck, (1995) encontraron en un estudio sobre la mejor probabilidad para AG, en él se hizo una prueba con 99 ejecuciones y se concluyó que la probabilidad de 0.1 fue la que mejor desempeño tuvo en el algoritmo. Al manejar un proceso de selección elitista, si el individuo mutado no mejora su fitness, este volverá a sus valores originales, esto con el objetivo de no perder sus buenos genes de generación tras generación.

El proceso de mutación funciona de la misma manera que el cruce pero solo para un individuo.

Individuo

	P1	P2
Sem 1	1	1
Sem 2	1	1
Sem 3	0	0
Sem 4	1	0

Mutación en sem 3

Individuo

	P1	P2
Sem 1	1	1
Sem 2	1	1
Sem 3	1	1
Sem 4	1	0

Al presentar una diferencia en su estructura, el individuo cambia todos los genes que estén relacionados, garantizando de igual manera su factibilidad frente al problema propuesto.

Criterio de reemplazo

El reemplazo es el proceso en el cual a partir de los procesos de cruce o mutación, se mantiene la población en su valor correspondiente. En el caso de que el proceso elegido sea el de cruce, los individuos a evaluar son padre 1, padre 2, hijo 1 e hijo 2, como es necesario mantener la población constante se deben eliminar dos individuos de este subgrupo seleccionado. La eliminación se realizará con base en los dos peores fitness de este subgrupo.

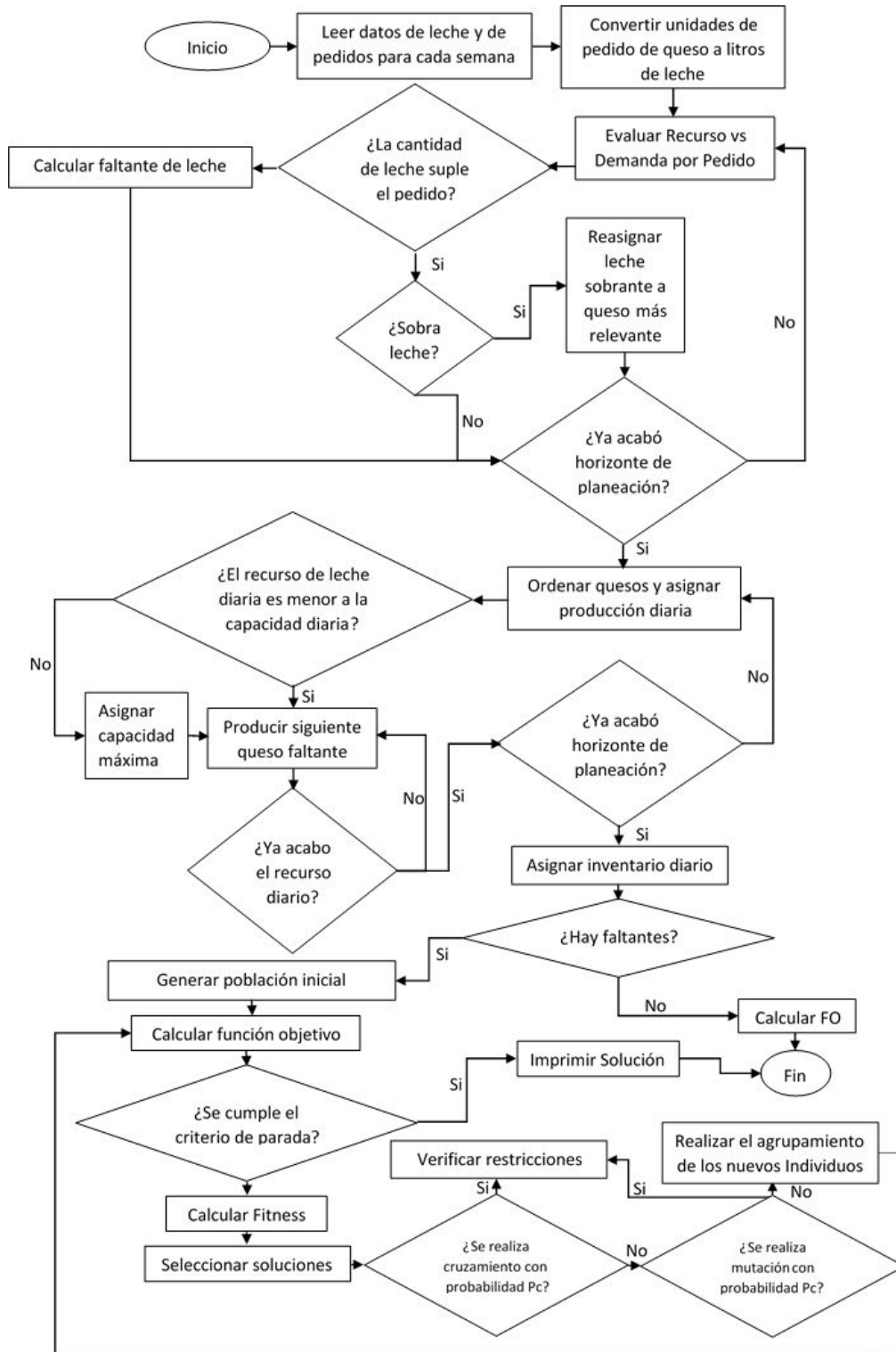
Criterios de parada

En el instante en que el AG encuentre la solución óptima este debe detenerse; sin embargo, esta solución se desconoce y debe definirse un criterio de parada para encontrar la solución del problema, los cuales son

definir un máximo de iteraciones o que se detenga hasta que la población no tenga más cambios (Hernández, 2012). En el caso de estudio se genera un límite de generación basado en un estudio de convergencia, el cual determina cuántas generaciones se deben realizar con el objetivo de converger hacia la más factible y buena solución.

Se presenta el diagrama del proceso de la planeación de la producción

Imagen 2. Pseudocódigo del algoritmo



Fuente: Los Autores

- **Diseñar un aplicativo que determine la ruta que los vehículos deben seguir para entregar los pedidos a los clientes, esto para minimizar costo de transporte y cumplir con los tiempos de entrega.**

El aplicativo del ruteo inicia leyendo los datos que el usuario debe introducir. Los datos son la demanda y las ventanas de tiempo por cada cliente. Para el funcionamiento del aplicativo son necesarios los costos de la gasolina y del conductor del camión, además de la matriz de distancias.

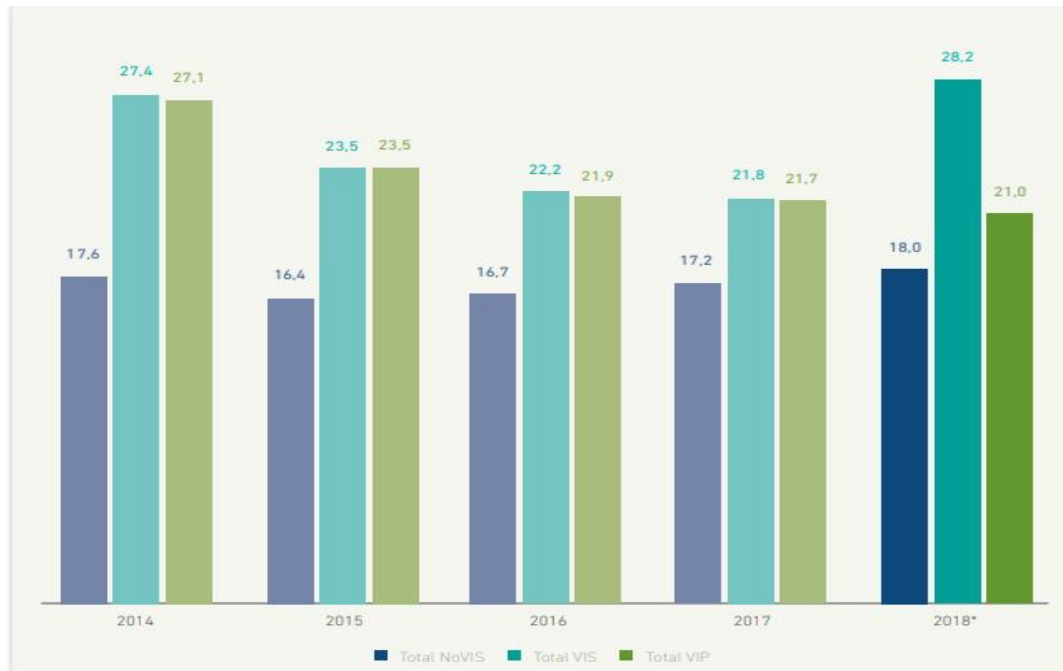
Este aplicativo se divide en dos casos. El primer caso es cuando ningún cliente posee ventanas de tiempo. En este caso, se realiza un vecino más cercano donde se llena primero un camión y luego el otro. La asignación de clientes a cada camión depende de su capacidad. En el caso de presentarse al menos una ventana de tiempo, el algoritmo desarrolla una heurística de inserción para ventanas de tiempo también conocida como heurística de Solomon.

Este método inicia creando una ruta bajo dos posibles criterios, el primero de ellos es escoger el cliente con la mayor lejanía y el segundo es escoger el cliente con la ventana de tiempo más próxima. Para la heurística desarrollada se tiene en cuenta el segundo criterio, debido a que este brinda prioridad a la ventana de tiempo más próxima (Solomon, 1987). Seguido a esto, se evalúan los posibles cortes que la ruta tenga (se asume por corte dos pares de nodos). La evaluación del corte se basa en determinar qué nodo puede ser atendido en el corte. Si existe más de un nodo que cumpla con las restricciones, la selección de los posibles nodos se basa en los valores de los parámetros establecidos por la heurística. Una vez se determina cuál es el mejor nodo según los parámetros, este se asigna en la posición del corte modificando por completo la ruta. Este proceso se desarrolla de manera constructiva hasta que todos los nodos sean establecidos en alguna ruta.

Para la realización del ruteo se ejecutaron los siguientes pasos:

1. Recolectar los datos e información que permita desarrollar de manera efectiva el ruteo. Dentro de la información que la empresa no tenía explícita, están las distancias promedio que hay entre nodos y la velocidad promedio que hay entre Simijaca y Bogotá, y la de Bogotá. Para obtener las distancias que hay entre puntos, se utilizó la aplicación Google maps. Mientras que para las velocidades promedio se utilizó la velocidad promedio de Bogotá en el año 2018 que es de 21,8 km/h (Secretaria de movilidad [Como Vamos en Movilidad], 2019). En la siguiente gráfica se puede apreciar la velocidad promedio desde el 2014 hasta el 2018 en la ciudad de vehículos motorizados.

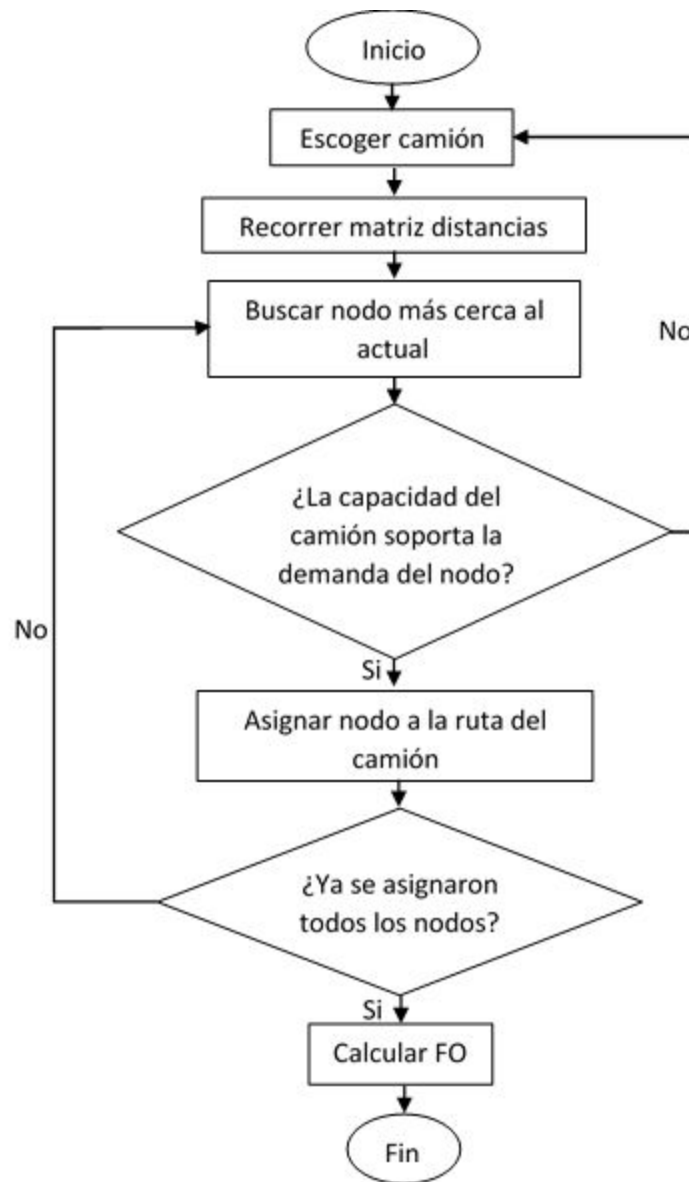
Gráfica 1. Velocidad promedio (km/h) por medios motorizados en Bogotá del 2014 al 2018.



Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad. *Por cambio de metodología de datos de 2018 no son compatibles, solo se ponen de manera ilustrativa.

2. Desarrollar un vecino más cercano para encontrar una ruta más corta. Este se puede apreciar en el siguiente diagrama.

Imagen 3. Pseudocódigo del algoritmo



Fuente: Los Autores

3. Codificar la heurística de Solomon para cumplir con las ventanas de tiempo requeridas por los clientes.
 - **Desarrollar un pronóstico de la demanda que permita validar los modelos propuestos comparando el escenario con el actual.**
- 1) Para el desarrollo de los pronósticos de la demanda, era necesario inicialmente, realizar unos pronósticos relacionados con la cantidad de leche que llega a la compañía, ya que como se ha mencionado, por condiciones tanto climáticas como de los proveedores, las cantidades de leche que llegan día a día varían con una tendencia estacionaria. Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó el siguiente proceso para el desarrollo de los pronósticos de la leche.

- 2) En primer lugar, se recolectó la información relacionada con históricos de cantidad de leche que le llega a la compañía día a día, esto en un periodo de tiempo de 9 meses (enero-septiembre) para tener una muestra de datos y deducir tendencias y/o estacionalidades de estos. Al graficar la totalidad de los datos, se decidió manejar un pronóstico por cada día de la semana (Lunes - Domingo), ya que con esta perspectiva se encontró una clara estacionalidad con una ligera tendencia, por lo cual se decidió realizar los pronósticos con metodologías acordes a este comportamiento, como Promedio Móvil ponderado (PMP) Suavización Exponencial Simple (SES) y Suavización Exponencial Doble (SED). Teniendo en cuenta lo anterior, se decidió pronosticar un horizonte de planeación de cuatro semanas..
- 3) Ahora, con el fin de evaluar los resultados de cada metodología, se tomó como referencia el indicador MAPE, el cual se busca minimizar para cada uno de los periodos de tiempo evaluados y de esta manera saber cuál pronóstico se asemeja más a los datos reales y puede proyectarse con mayor exactitud los periodos siguientes.
- 4) Bajo estos mismos criterios, periodos de tiempo y horizonte de planeación, se realizaron los pronósticos para la demanda de queso, con la diferencia de que estos se realizan únicamente los días de envío de producto (martes y viernes) ya que estos días acumulan los pedidos de los días anteriores. Ambos pronósticos fueron programados en Visual Basic Applications (VBA) para obtener la autonomía que el diseño requería, además de una alta funcionalidad debido a que dichos pronósticos pueden calcularse nuevamente a la necesidad del operario para cada periodo de tiempo, permitiendo que el entregable sea útil para la empresa.
- 5) Al tener los pronósticos de la leche y los pedidos, se decidió utilizar el mecanismo de control señal de rastreo para verificar que tan subestimados o sobreestimados están los pronósticos. La señal de rastreo indica que tan acertados fueron los pronósticos o proyecciones, los cuales deben encontrarse dentro de unos límites de control y sus valores deben oscilar entre negativos y positivos; por lo cual, en cuanto menores sean las magnitudes de las señales de rastreo y los valores se encuentren entre positivos y negativos el pronóstico se encuentra bajo control (Castro y Uribe, 2010).
- 6) Como resultado, el entregable diseñado genera los pronósticos tanto de leche como de quesos con las diferentes metodologías para los diferentes periodos de tiempo ya mencionados, esto para luego elegir el pronóstico que mayor precisión presente con el indicador MAPE, teniendo en cuenta que Frechtling (2001) afirma que el MAPE por debajo del 10% representa un pronóstico altamente preciso.

5. Componente de Diseño en ingeniería

○ Declaración de Diseño:

Los entregables enfocados en la mejora de la cadena de suministro contendrán el desarrollo de los pronósticos de demanda que alimentará un modelo de planeación de la producción y de manejo de los inventarios, esto con el fin de minimizar tanto los costos, como las unidades faltantes. Por otra parte, se diseñará un aplicativo para la distribución del producto terminado con el fin de disminuir los costos de transporte, ligados a una menor distancia recorrida y a un cumplimiento de las ventanas de tiempo de entrega impuestas por los clientes.

○ Requerimientos de desempeño:

- El aplicativo de pronósticos requerirá como datos de entrada, el histórico de demanda de la empresa.
- El aplicativo de pronósticos arrojará las proyecciones de ventas logrando la mayor precisión posible.
- El aplicativo para la planeación de la producción requerirá como parámetro de entrada la proyección de ventas arrojada por la herramienta de pronósticos.
- El aplicativo para la planeación de la producción arrojará las cantidades a producir de cada uno de los productos minimizando los faltantes.
- El aplicativo para la distribución de los productos terminados, requerirá como parámetro de entrada una matriz de distancias en la que estén presentes las ubicaciones de la planta y los clientes.
- El aplicativo para la distribución de los productos terminados arrojará la ruta oportuna para cumplir con los tiempos de entrega y que garantice la disminución en la distancia recorrida por el camión.
- Los entregables y aplicativos mejorarán la cadena de suministro, específicamente en la planeación de la producción y en la distribución de los productos al cliente de manera que aumente el cubrimiento de la demanda y disminuyan los costos de transporte.

○ Restricciones:

- Las cantidades recolectadas de leche depende directamente de los proveedores.
- La capacidad de producción no se modificará por restricciones de maquinaria y personal.
- Los modelos de pronósticos únicamente tendrán en cuenta los datos históricos de la leche y los pedidos como variables en el momento de hacer el cálculo de estos, puesto que no presentan datos atípicos en el comportamiento.
- De ser necesario, el personal y maquinaria serán parámetros de entrada para la realización de la planeación de producción.
- El número de camiones y su capacidad actual, además de los días de entrega de producto terminado, serán parámetros de entrada para el aplicativo de distribución de los productos terminados, por lo cual no serán modificados.

- Los entregables se desarrollaron en Excel/VBA para facilitar el uso de las aplicaciones en el contexto real de la empresa.
- La capacidad de la bodega será parámetro de entrada para la planeación de la producción y el manejo de inventarios.
- Para garantizar la exactitud de los pronósticos, es necesario que la base de datos sea actualizada por la empresa cada vez que se vaya a correr el aplicativo.
- Para visualizar las rutas arrojadas por el aplicativo de transporte, es necesario ingresar previamente la cantidad de clientes con su respectiva dirección, la distancia en kilómetros que existen entre estos, sus respectivas demandas, hora límite de llegada y datos referentes a los camiones como la cantidad y capacidad.
- Los aplicativos propuestos no fueron implementados en la empresa por limitaciones de tiempo. Por esta razón y para validar su funcionalidad, se realizaron simulaciones para comparar los resultados con la situación actual de la empresa.
- Los modelos de pronósticos tendrán como parámetro únicamente los datos históricos de la leche y los pedidos como variables a tener en cuenta para el cálculo de estos..
 - Pruebas de rendimiento

Medida de error de los pronósticos: para verificar la exactitud de cada una de las metodologías de pronósticos propuestas, se utilizó el indicador de desempeño MAPE, el cual determina el error del pronóstico encontrado. Para encontrar los mejores parámetros se hicieron tres pruebas, una de 100 iteraciones, otra de 200 y una de 1000, donde cada una fue ejecutada un total de 100 veces para garantizar la validez de los datos encontrados. La variación porcentual en promedio entre 100 y 200 iteraciones es de 0,23%, entre 100 y 1000 iteraciones fue de 0,5%. Con los resultados, se pudo concluir que la ejecución de las tres pruebas encuentra parámetros similares y para garantizar la eficiencia del aplicativo se elige ejecutar 100 iteraciones.

Método de Solomon: para encontrar una mejor solución o ruta que cumpla con las ventanas de tiempo estipuladas por los clientes.

Función de evaluación (Fitness): La función de evaluación del AG determina el grado de adaptación que cada individuo posee, donde evalúa si este individuo se aproxima a la mejor solución del problema. Esta función permite distinguir los mejores individuos de los peores y al mismo tiempo garantizando la factibilidad de cada uno de los individuos según las restricciones del problema.

- Cumplimiento del estándar:
 - Siguiendo el decreto 616 del 2006 del Reglamento Técnico sobre requisitos para el consumo humano, procesamiento y envasado de leche, la leche proveniente de los distribuidores pasa por un proceso de control de calidad que verifica las propiedades correctas para que la leche pueda ser utilizada en el proceso productivo del queso.
 - Para el cumplimiento de la resolución 02310 de 1986 que reglamenta parcialmente el Título V de la Ley 09 de 1979 referente al procesamiento, composición, transporte y comercialización de Derivado Lácteos, la empresa cuenta con los respectivos registros INVIMA que garantizan el correcto funcionamiento de cada uno de los procesos, además de un correcto manejo del producto terminado teniendo en cuenta su fecha de vencimiento para

controlar sus propiedades de consumo y controlando la capacidad de almacenamiento en el transporte para conservar sus condiciones físicas.

- Acorde con la norma ISO-9126 los aplicativos cuentan con los siguientes requerimientos:
 - Fiabilidad: se garantiza el cumplimiento de los objetivos propuesto y la solución de los problemas de la empresa presentados anteriormente.
 - Funcionalidad y Mantenibilidad: la herramienta presentada y entregada a la empresa cumple con los requerimientos para satisfacer las necesidades de la empresa presentadas previamente, de tal manera que pueda ser utilizado por esta de manera autónoma y en instancias futuras.
 - Calidad en uso: debido al alcance del proyecto, los aplicativos no fueron implementados en la empresa con el fin de evaluar la usabilidad de los aplicativos.
 - Eficiencia: los aplicativos se evalúan respecto al tiempo de respuesta al momento de ser ejecutados, donde los resultados son los siguientes:
 - Aplicativo producción: 70 Segundos
 - Aplicativo transporte: 10 Segundos
 - Entregable pronósticos: 7 Segundos

6. Resultados.

La herramienta de pronósticos desarrollada para obtener los datos de entrada en la planeación de producción, arrojó cual método se ajusta mejor a los históricos proporcionados por Lácteos Simijacá respecto a la leche y los pedidos de queso. El modelo seleccionado se identifica por el valor que está subrayado siendo este el de menor MAPE. Debido a lo anterior, teniendo en cuenta que la empresa brindó los históricos de las primeras 39 semanas del año, la herramienta eligió los modelos de pronósticos para la leche (se representa la cantidad en litros) por cada día de la semana (Lunes a domingo) cuyos datos se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación modelos pronósticos leche

Lunes			Martes			Miércoles			Jueves			
	SES	SED	PMP	SES	SED	PMP	SES	SED	PMP	SES	SED	PMP
MAPE	2,365%	<u>2,336%</u>	2,616%	<u>1,098%</u>	1,914%	2,398%	1,981%	<u>1,912%</u>	2,553%	<u>2,341%</u>	2,348%	2,774%

Viernes			Sábado			Domingo			
	SES	SED	PMP	SES	SED	PMP	SES	SED	PMP
MAPE	2,181%	<u>2,103%</u>	2,625%	<u>1,896%</u>	1,947%	2,437%	2,715%	<u>2,669%</u>	3,063%

Fuente: Los Autores

Según los modelos seleccionados para cada día, los pronósticos que arrojaron se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Pronósticos de leche con metodología seleccionada

Datos de leche lunes			Datos de leche martes			Datos de leche miércoles		
Selección	Semana	Litros	Selección	Semana	Litros	Selección	Semana	Litros
SED	39	4098	SES	39	4142	SED	39	4060
	40	3804		40	4142		40	4054
	41	3769		41	4142		41	4037
	42	3733		42	4142		42	4019

	43	3698		43	4142		43	4002
--	----	------	--	----	------	--	----	------

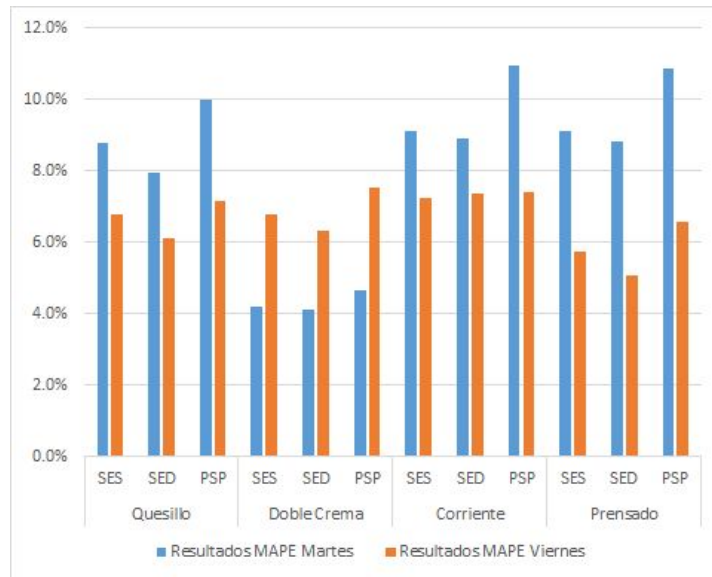
Datos de leche jueves			Datos de leche viernes			Datos de leche sábado		
Selección	Semana	Litros	Selección	Semana	Litros	Selección	Semana	Litros
SES	39	4143	SED	39	4108	SES	39	4107
	40	4143		40	4033		40	4107
	41	4143		41	4018		41	4107
	42	4143		42	4002		42	4107
	43	4143		43	3987		43	4107

Datos de leche domingo		
Selección	Semana	Litros
SES	39	4029
	40	3969
	41	3954
	42	3939
	43	3924

Fuente: Los Autores

En cuanto a los modelos elegidos para los pedidos (se representa la cantidad en libras) se usaron las mismas semanas históricas de la leche; la herramienta eligió los modelos para cada tipo de queso (quesillo, doble crema, corriente y prensado) y cada día de pedido (martes y viernes).

Gráfica 2. Comparación modelos pronósticos demanda



Fuente: Los Autores

Teniendo en cuenta los modelos seleccionados para cada día y tipo de queso ilustrados en la Gráfica 2, los pronósticos arrojaron los siguientes valores.

Tabla 3. Pronósticos demanda con metodología seleccionada

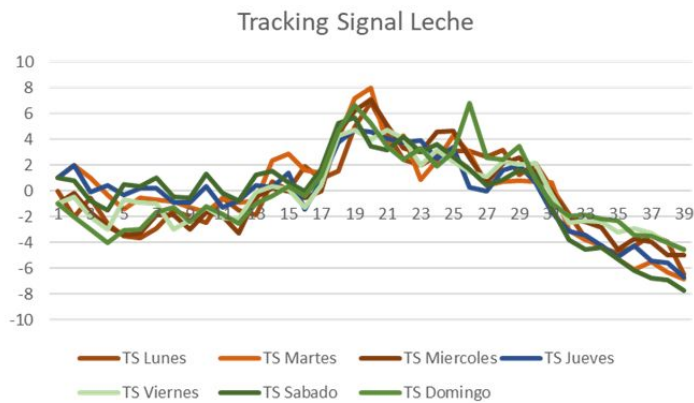
Datos pedidos Martes				
Semana	Corriente	Prensado	Doble Crema	Quesillo
	SED	SED	SED	SED
40	354	520	3317	46
41	355	522	3318	46
42	356	524	3319	46
43	357	526	3320	46

Datos pedidos Viernes				
Semana	Corriente	Prensado	Doble Crema	Quesillo
	SES	SED	SED	SED
40	309	288	1762	46
41	309	287	1760	46
42	309	287	1757	45
43	309	287	1754	45

Fuente: Los Autores

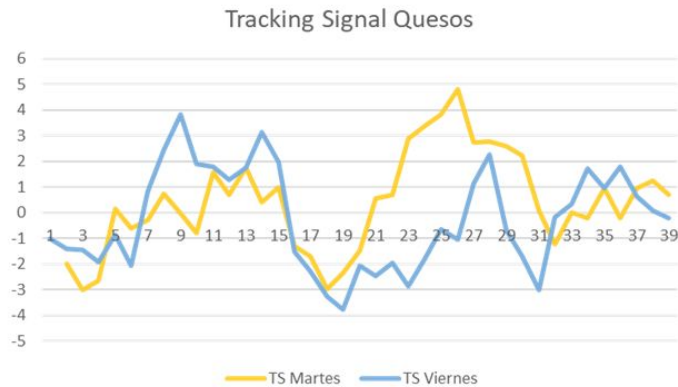
Sabiendo lo anterior, es importante medir la desviación de los pronósticos tanto de leche como de tipos de quesos, esto respecto a las variaciones de la demanda con el fin de validar que tan sobre o subestimados están los pronósticos contra la demanda real. Para cumplir esto, se utiliza la metodología de señal de rastreo obteniendo los siguientes resultados.

Gráfica 3. Tracking signal de pronóstico de leche recolectada por día



Fuente: Los Autores

Gráfica 4. Tracking signal de pronósticos de quesos por día.



Fuente: Los Autores

Como se muestra en las gráficas 3 y 4, la señal de rastreo se encuentra en niveles aceptables. Tener niveles máximos de +/-8% en la desviación de los pronósticos representan niveles aceptables para establecer que el pronóstico se encuentra controlado (Plossl y Wight, 1970).

Los anteriores valores fueron tenidos en cuenta para representar la situación actual de la empresa y la propuesta planteada por el grupo. Además, las cantidades de queso representadas en libras se convirtieron en litros; esto con el objetivo de facilitar los cálculos en la herramienta y la visualización de faltantes en términos de leche.

La planeación de producción actual de Lácteos Simijacá se ve afectada por tener faltantes y excedentes de leche al momento de realizar el pedido. Este resultado se ve reflejado de la semana 40 a la 43 en las Tabla 4 y Tabla 5:

Tabla 4. Cantidades producción acumulada actual martes

Producción actual de queso en litros de leche						
Martes						
Corriente	Prensado	Doble Crema	Quesillo	Necesario	Total Producido	Faltante/Sobrante
723	1.847	13.680	138	20.5508	16.387	-4.121
718	1.837	13.560	137	20.525	16.252	-4.273
718	1.839	13.528	137	20.541	16.222	-4.320
718	1.841	13.495	136	20.558	16.191	-4.367

Fuente: Los Autores

Tabla 5. Cantidades producción acumulada actual viernes

Producción actual de queso en litros de leche						
Viernes						
Corriente	Prensado	Doble Crema	Quesillo	Necesario	Total Producido	Faltante/Sobrante

789	1.280	9.094	173	11.337	11.337	663
789	1.276	9.084	173	11.322	11.322	631
789	1.276	9.068	169	11.303	11.303	588
789	1.276	9.053	169	11.287	11.287	555

Fuente: Los Autores

La solución final está parametrizada por el costo del excedente de leche a comprar; esto debido a que el costo total de leche no debe exceder el presupuesto de la empresa para esta materia prima. En el caso expuesto se usó un presupuesto de \$11'000.000

La solución brindada por el aplicativo arroja una mejora en la planeación de producción frente a la situación actual, donde disminuyen los faltantes y se utilizan los excedentes de leche para anticipar escasez de recurso. Este resultado se ve reflejado de la semana 40 a la 43 (Tabla 6 y Tabla 7).

Tabla 6. Cantidades producción acumulada mejorada martes

Producción mejorada de queso en litros de leche						
Martes						
Corriente	Prensado	Doble Crema	Quesillo	Necesario	Total Producido	Faltante/ Sobrante
904	2.235	17.120	173	20.508	20.432	-76
907	2.320	16.008	-	20.525	19.235	-1290
909	2.329	16.342	173	20.542	19.753	-788
912	2.234	17.134	173	20.558	20.453	-105

Fuente: Los Autores

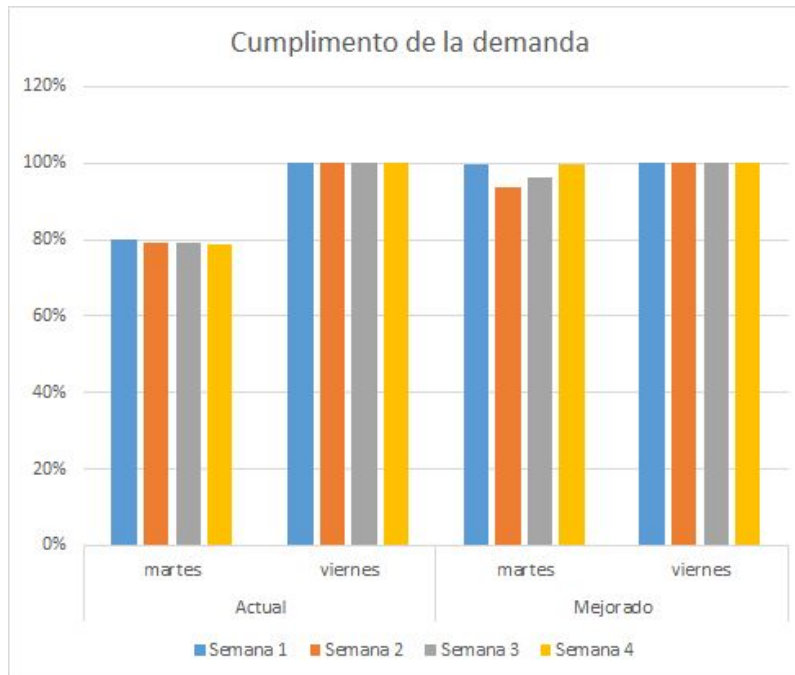
Tabla 7. Cantidades producción acumulada actual viernes

Producción mejorada de queso en litros de leche						
Viernes						
Corriente	Prensado	Doble Crema	Quesillo	Necesario	Total Producido	Faltante/ Sobrante
789	1.280	9.095	173	11.337	11.337	-
789	1.276	9.084	173	11.322	11.322	-
789	1.276	9.069	169	11.303	11.303	-
789	1.276	9.608	169	11.287	11.287	-

Fuente: Los Autores

Ahora, teniendo en cuenta estos resultados, se evaluó el cumplimiento de los pedidos de cada día y la semana a la que corresponde, donde se comparó la situación actual con la propuesta (Gráfica 5).

Gráfica 5. Cumplimiento actual vs cumplimiento de la propuesta



Fuente: Los Autores

El modelo evidencia como Lácteos Simijacá mejora el uso de su recurso disminuyendo los faltantes; Además, mejora su utilidad al vender más productos (Tabla 8 y 9), respetando el presupuesto de la empresa.

Tabla 8. Utilidad situación actual

Utilidad situación actual							
Martes				Viernes			
Corriente	Prensado	Doble Crema	Quesillo	Corriente	Prensado	Doble Crema	Quesillo
\$1.315.463	\$3.303.852	\$22.919.277	\$268.151	\$1.443.648	\$2.291.106	\$15.331.940	\$334.880

Utilidad no op.	Total Utilidad
-\$1.449.442	\$45.758.875

Fuente: Los Autores

Tabla 9. Utilidad metodología aplicada

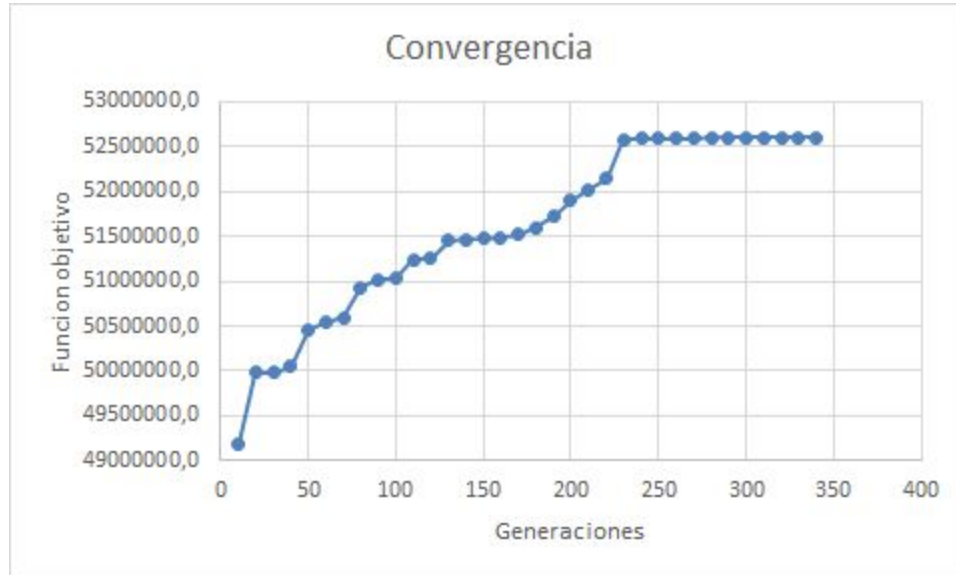
Utilidad situación mejorada							
Martes				Viernes			
Corriente	Prensado	Doble Crema	Quesillo	Corriente	Prensado	Doble Crema	Quesillo
\$1.660.812	\$4.090.791	\$28.132.329	\$253.781	\$1.443.150	\$2.291.704	\$15.332.197	\$334.462

Utilidad no op.	Total Utilidad
-	\$53.539.226

- Criterio de parada para el caso de estudio:

Para encontrar el criterio de parada, se desarrolla un análisis para determinar desde qué cantidad de generaciones la población converge. Los resultados obtenidos son:

Gráfica 6. Convergencia



Fuente: Los Autores

En la gráfica 6, se puede evidenciar cómo desde 250 generaciones en adelante, el problema converge. Por ende, el criterio de parada asume un valor de 250 generaciones. Se selecciona al mejor individuo de la generación 250 y éste posee todas las características para lograr los resultados anteriormente descritos.

Con estos resultados, la empresa mejora su utilidad en un 17% y en valores absolutos en \$7.780.351 COP.

En cuanto a los resultados obtenidos del aplicativo que define una posible ruta para distribuir los productos, se obtuvo una disminución en el costo total de las rutas del horizonte de planeación en promedio de \$94.160,64, lo que equivale a un 5,42%. De igual manera se logra disminuir el porcentaje de incumplimiento de ventanas de tiempo de 30% a 0%. Para este caso, se tomaron las demandas obtenidas por el pronóstico arrojado para el horizonte de planeación.

Tabla 10. Costos

Costo Gasolina/Km (Camión 1)	Costo Gasolina/Km (Camión 2)	Costo Peajes	Costo Conductor/Minuto
\$392,17	\$317,73	\$45000	\$61,62

Fuente: Los Autores

Hay que tener en cuenta que estos costos permanecen constantes para cada escenario (Actual y Propuesto).

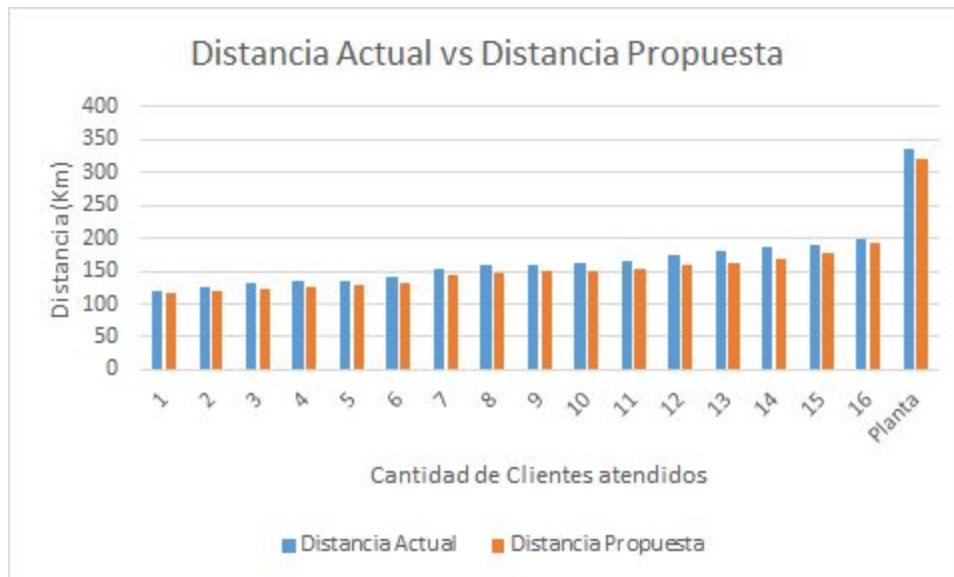
Esta reducción de costos, se debe a que el aplicativo identifica una ruta con menor distancia respecto a la que hacen actualmente, que a su vez tiene menor tiempo. El costo de la gasolina por km recorrido se obtuvo gracias a que la compañía brindó la información de cuánto pagaban en gasolina por ruta de cada camión. El camión 1 gasta \$120.000,00 en gasolina, mientras que el camión 2 gasta aproximadamente \$95.000,00 (Varela, N., 2019). Con estos valores y con la distancia de la ruta que hacen actualmente se sacó un estimado del precio de la gasolina por km recorrido. De igual manera para todos los días del ruteo en el horizonte de planeación la empresa debe visitar a todos los clientes. Los factores que varían entre rutas son las ventanas de tiempo que el cliente establece.

En cuanto a los costos del tiempo, hacen referencia a los minutos que el conductor tarda en efectuar la ruta y se genera un costo de lo que gana un día entre semana tradicional. Estos dos factores (Distancia y Tiempo) son los que alteran los costos y son directamente proporcionales. Por ende a mayor Distancia, mayor tiempo y mayor costo.

Debido a que la capacidad de los camiones es de 10000 y 8000 libras, no es necesario para todas las rutas enviar dos camiones, por ende solo uno hace la ruta generalmente. Esto varía dependiendo de la cantidad de ventanas de tiempo establecidas, pues si estas son muy estrictas se deben usar los dos camiones.

En la Gráfica 7, se puede apreciar los km recorridos en promedio de las rutas en todo el horizonte de planeación.

Gráfica 7. Comparación promedio distancias recorridas en Km



Fuente: Los Autores

Cabe resaltar que en el año 2019 hay 53 martes y 52 viernes.

7. Limitaciones, conclusiones y recomendaciones.

Para empresas productoras y distribuidoras es de vital importancia tener el mayor control posible de cada uno de los procesos en los cuales se ve envuelto, y esto se obtiene, utilizando la mayor cantidad de recursos que faciliten y optimicen cada uno de estos. Nuestra empresa del caso de estudio, Lácteos Simijacá, es un claro ejemplo del buen trabajo que puede realizar una PYME en un mercado tan competitivo como lo es el de

productos lácteos, que a pesar de no contar con una infraestructura analítica competitiva, demuestra una clara organización de sus procesos empíricos. No obstante, en el presente trabajo de grado se desarrollaron diferentes aplicativos que lograrán controlar mejor cada uno de los procesos abarcados y obtener mejores resultados al final de cada uno de estos.

Para sustentar lo anterior, es importante analizar el desempeño de las herramientas diseñadas. En primera instancia, la herramienta de pronósticos, como se observa en los resultados tanto de leche (ver Tabla 1) como de demanda (ver Gráfica 2), se obtiene una gran exactitud en los pronósticos que no supera el 10% del error porcentual absoluto (MAPE). De esta manera, se permite la obtención de datos coherentes y certeros que servirán como base para la correcta planeación de la producción.

Por otro lado, la herramienta para la planeación de la producción, se debe evaluar respecto al cumplimiento de los objetivos propuestos. Respecto a la minimización de faltantes, se logró mejorar la planeación de producción de queso para disminuir la cantidad de faltantes en cada uno de los periodos que se tomaron como ejemplo para la simulación del aplicativo (ver Tabla 6 y Tabla 7). También, se aumentó el cumplimiento de los pedidos que realizan los clientes en estos periodos (ver Gráfica 3). Gracias a estas mejoras, se logró un 17% de aumento en la utilidad de la empresa en la simulación realizada (ver Tabla 9), basándonos en los costos que representaba el incumplimiento de los pedidos y la presencia de grandes cantidades de sobrantes.

En cuanto a la herramienta que determina la ruta de entrega del producto terminado, entrega resultados satisfactorios al lograr minimizar los costos de transporte de la empresa, reflejado en una disminución aproximadamente de \$94.160,64 promedio en todo el horizonte de planeación, equivalente a un 5,42%, respecto a la situación actual de la compañía. Esta disminución se presenta por la diferencia en kilómetros recorridos entre la ruta actual de la empresa y la generada por los algoritmos del aplicativo diseñado, los cuales representan costos tanto de mano de obra por tiempo, como de combustible para el vehículo. Además de tener un porcentaje de incumplimiento de ventanas de tiempo de 0%.

Para finalizar, las herramientas descritas previamente, darán un valor agregado a los procesos contemplados por este trabajo de grado y serán de gran ayuda para el crecimiento de la compañía. Esto debido a que brindan un soporte al momento de tomar de decisiones a lo largo del proceso productivo, priorizando su mantenibilidad, funcionalidad y eficiencia para el bien de Lácteos Simijacá. No obstante, se recomienda la constante renovación de los datos que alimentan cada uno de aplicativos presentados, ya que de esta manera se garantizará la exactitud en los resultados arrojados por estos, permitiendo tomar las mejores decisiones para la compañía.

Como estudios futuros, se propone realizar un scheduling para las órdenes, teniendo en cuenta la demanda no como libras sino por presentaciones de productos. De igual manera se recomienda realizar una herramienta para el control de pedidos donde se garantice su correcto manejo para poder realizar un seguimiento por cliente y por presentaciones de cada producto.

8. Glosario

Cadena de Suministro Alimentaria: es la que vincula gran variedad de actividades como: la adquisición de materias primas, su procesamiento hasta el consumo humano final y su distribución. Este hecho involucra también a múltiples actores: agricultores, proveedores, fabricantes, empaquetadores, transportistas, exportadores, mayoristas, minoristas y clientes finales con intereses diferentes y cambiantes, actitudes culturales y dimensiones, lo que la convierte en una industria muy dinámica y desafiante (Turi et al., 2014). Aproximación basada en estrategias evolutivas

VBA: Visual Basic for Application por sus siglas en inglés. Es una implementación del lenguaje de programación adaptado a las distintas aplicaciones que componen Microsoft Office (Iruela, 2016).

MAPE: (Error Porcentual Absoluto Medio). Es un indicador del desempeño del pronóstico de demanda que mide el tamaño del error (absoluto) en términos porcentuales. (Tutoriales, 2015)

SES: (Suavización Exponencial Simple). Método de pronóstico basado en el uso de promedios móviles ponderados donde la ponderación es exponencial, por lo que se concede mayor ponderación al valor correspondiente al periodo inmediatamente anterior al periodo del pronóstico. (Vega, 2015)

SED: (Suavización Exponencial Doble). Método de pronóstico que usa una ecuación de tendencia lineal basada en el empleo de dos constantes de suavización. (Vega, 2015)

PMP: (Promedio Móvil Ponderado). Método de pronósticos que sirve para pronosticar valores de datos del siguiente periodo de la serie de tiempo. (Vega, 2015)

9. Tabla de Anexos o Apéndices

No. Anexo	Nombre	Desarrollo	Tipo de Archivo	Enlace	Relevancia para el documento (1-5)
1	Aplicativo Producción, Ruteo y Pronósticos	Propio	Excel	https://drive.google.com/file/d/1UxIR-4u6hFaQDnCJdooT5cQoEf7ADZmx/view?usp=sharing	5
2	Comparación situación actual vs mejorada	Propio	Excel	https://drive.google.com/file/d/1TAwikYGpFS6-NpaWnR68mbNfgGLJy-8C/view?usp=sharing	3
3	Prueba iteraciones MAPE	Propio	Excel	https://drive.google.com/file/d/1uwzjgHkOFjUkMcEgNhq-uh20yCLJqSym/view?usp=sharing	1
4	Manual Aplicativo	Propio	PDF	https://drive.google.com/file/d/1BTciXda7bXXIuCcYtUvLSxygpRxsCh8R/view?usp=sharing	4

Referencias

Ahumada, O., y Villalobos, J.R. (2009). Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. *European Journal of Operational Research*, 1-20. DOI: 10.1016/j.ejor.2008.02.014

Alander, J. T. (1992). On optimal population size of genetic algorithms. *In CompEuro 1992 Proceedings computer systems and software engineering* (pp. 65-70). IEEE.

Ashtiani, M. G., & Mohammadipour, F. (2012). Considering different types of constraints for production planning for a dairy product: a case study. *The Journal of Commerce*, 4(1), 13.

Asoleche (2017). *Consumo de lácteos en Colombia*. Bogotá, Colombia.: Asoleche. Recuperado de <https://asoleche.org/2017/06/12/consumo-de-lacteos-en-colombia/>

- Carrillo, M. H., y Fiorillo, G. R. (2002). Modelo analítico para el estudio de una cadena de abastecimiento. *Ingeniería y Universidad*, 6(2), 119-135.
- Castro, C. A., Uribe, D.C. (2010). Optimización de parámetros y de valores de inicio para el modelo de Holt basado en señales de rastreo. *Revista EIA*, 7 (14), 115-124. Recuperado de <https://revistas.eia.edu.co/revistas/index.php/reveia/article/view/423/416>
- Chen, Z., & Sarker, B. R. (2014). An integrated optimal inventory lot-sizing and vehicle-routing model for a multisupplier single-assembler system with JIT delivery. *International Journal of Production Research*, 52(17), 5086-5114.
- Clark, A. J., and Scarf, H., (1960). Optimal Policies for a MultiEchelon Inventory Problem, *Management Science*, Vol. 6,475-490.
- Congreso de Colombia (2004). *Ley 905 de agosto de 2004 por medio de la cual se modifica la Ley 590 de 2000 sobre promoción del desarrollo de la micro, pequeña y mediana empresa colombiana y se dictan otras disposiciones*. Bogotá D.C.: Congreso de Colombia.
- Dávila, C. (2001). *Teorías organizacionales y administración*, segunda edición. Bogotá, D.C., Colombia. McGrawHill.
- El-Ghazali, T. (2009). *Metaheuristics: from design to implementation*. *Jonh Wiley and Sons Inc., Chichester*, 9, 10-11.
- Farahani, P., Grunow, M., & Günther, H. O. (2012). Integrated production and distribution planning for perishable food products. *Flexible services and manufacturing journal*, 24(1), 28-51.
- Fine, C. H. (2000). Clockspeed-based strategies for supply chain design. *Production and Operations Management*, 9(3), 213-221. DOI: 10.1111/j.1937-5956.2000.tb00134.x
- Frechtling, D. C. (2001). *Forecasting Tourism Demand*. Oxford: Routledge. Recuperado de <https://search-ebshost-com.ezproxy.javeriana.edu.co/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=195250&lang=es&site=eds-live>
- García, R., Servente, M., Pasquini, D. (2003). *Sistemas Inteligentes*. Editorial Nueva Librería, 149-280. ISBN No 987-1104-05-7
- Greenwell, R. N., Angus, J. E., & Finck, M. (1995). Optimal mutation probability for genetic algorithms. *Mathematical and Computer Modelling*, 21(8), 1-11.
- Hernández, H. (2012). *Análisis de la cadena de suministro de ciclo cerrado mediante algoritmos genéticos* (tesis de maestría). Recuperado de: https://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/7467/Helga%20Johana%20Hern%C3%A1ndez%20Hern%C3%A1ndez_Trabajo.pdf?sequence=1
- Iruela, J. (2016). Qué es VBA. *Revistadigital*. Recuperado de <https://revistadigital.inesem.es/informatica-y-tics/que-es-vba/> Fecha de consulta: 03/04/2019.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Atlas climatológico de Colombia*. Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

- Juárez, A. C., Zuñiga, C. A., Flores, J. L. M., & Partida, D. S. (2016). Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos. *Estudios Gerenciales*, 32(141), 387-396..
- Lambert D. M., y Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 65-83. 2000. DOI: 10.1016/S0019-8501(99)00113-3
- Lambert, D. M., Garcia-Dastugue, S. J. y Croxton. (2005). An evaluation of process oriented supply chain management frameworks. *Journal of Business Logistics*, 26(1), 25-51.
- Lee, L., Gereffi, G., y Beauvai, J. (2012). Global value chains and agrifood standards: challenges and possibilities for smallholders in developing countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United*, 109(31), 12326-12331. DOI: 10.1073/pnas.0913714108
- Manzini, R., Accorsi, R., y Bortolini, M. (2014). Operational planning models for distribution networks. *International Journal of Production Research*, 52(1), 89-116.
- Mendoza, A. A., Herrera, T. J., y Visbal, D. A. (2014). Optimización multiobjetivo en una cadena de suministro. *Revista ciencias estratégicas*, 22(32), 295-308.
- Mentzer, JT , Dewitt, W. , Keebler, JS , Min, S. , Nix, NW , Smith, CD y Zacharia, ZG. (2001). Definición de la gestión de la cadena de suministro. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1 - 25.
- Ministerio de la protección social de Colombia (2006). *Decreto 616 de 2006 Por el cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expendo, importe o exporte en el país*. Bogotá D.C.: Ministerio de la protección social de Colombia.
- Olivera, A. (2004). Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos. *Reportes Técnicos* 04-08.
- Palacios, A (2016). *Ranking lácteo*. Bogotá, Colombia.: Asoleche. Recuperado de <https://asoleche.org/2017/07/31/ranking-lacteo/>
- Rincón, N. (2019). Cómo vamos en Movilidad. Informe de calidad de vida de Bogotá, 21(1), 168-209. Recuperado de <http://www.bogotacomovamos.org/documentos/vigesimo-primer-informe-de-calidad-de-vida-en-bogota/>
- Sánchez, V., y Vianchá, Z. H. (2014). Modelos y configuraciones de cadenas de suministro en productos perecederos. *Ingeniería y desarrollo*, 32(1).
- Sepúlveda, J., John, W. E., y Wilson Adarme-Jaimes. (2014). An algorithm for the routing problem with split deliveries and time windows (SDVRPTW) applied on retail SME distribution activities. *Dyna*, 81(187), 223-231. Recuperado de <https://login.ezproxy.javeriana.edu.co/login?qurl=https%3A%2F%2Fsearch.proquest.com%2Fdocview%2F1676619278%3Faccountid%3D13250>
- Solano E. (2008). *Programación de Talleres de Producción Seriales Híbridos (Flexibles) con múltiples objetivos mediante el uso de Metaheurísticas: Colonias de Hormigas* (tesis de maestría). Recuperado de: <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/175/55306552.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations research*, 35(2), 254-265.

Subbaiah, K. V., Narayana, K., y Nookesh, R. K. (2009). Supply chain management in a dairy industry—A case study.

Tutoriales, G. (26 de enero de 2015). Blog sobre la Gestión e Investigación de Operaciones. Recuperado de: <https://www.gestiondeoperaciones.net/proyeccion-de-demanda/error-porcentual-absoluto-medio-mape-en-un-pronostico-de-demanda/>

Valencia, V. R., Herrera, S. R., & Gómez, O. D. C. (2016). Algoritmos aplicados en la programación de las cadenas de suministros para minimizar costos. Revisión de literatura. *Ingeniare*, (20), 121-133.

Van der Vorst, J.G., van Dijk, S. J., y Beulens. (2001). Supply chain design in the food industry. *The International Journal of Logistics Management*, 12(2), 73-86. DOI: 10.1108/09574090110806307

Vega, L. C. T. (2015). Modelos de Series de Tiempo. Recuperado de: <http://ri.uaemex.mx/oca/bitstream/20.500.11799/32339/1/secme-11680.pdf>