



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería de Sistemas

Modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística interna enfocado a la optimización de la producción y maximización de las ganancias de las MIPYMES textiles en el cantón Cuenca.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero de Sistemas

Modalidad: Artículo Académico

Autores:

María Belén Toledo Illescas

CI: 0105380307

Correo electrónico: mabelen.toledo@hotmail.com

Christian Marcelo Torres Torres

CI: 0106133077

Correo electrónico: marcelotorrestorres9515@gmail.com

Director:

Ing. Jaime Eduardo Veintimilla Reyes

CI: 0103458394

Co-Directores:

Ing. Juan Carlos Llivisaca Villazhañay

CI: 0105627269

Ing. Mario Patricio Peña Ortega

CI: 0302168141

Cuenca- Ecuador

18-Febrero-2022



Resumen:

En los últimos años se han publicado estudios dedicados a la creación de modelos de optimización, muchos de los cuales se han aplicado en el sector textil. Según INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) este sector es parte de las áreas de desarrollo económico de un país, siendo una de las principales fuentes generadoras de empleo. Por lo tanto, surge la necesidad de revisar el estado del arte que se ha publicado sobre modelos de optimización, iniciando con la selección de preguntas de investigación, bases de datos digitales y términos de búsqueda para posteriormente aplicar filtros prácticos y metodológicos, que nos permiten hacer una revisión y sintetizar los resultados obtenidos sobre los modelos de optimización. De esta manera se llega a comprender sobre las áreas que se están optimizando y los métodos utilizados para resolver los problemas que surgieron en el sector textil. Todo ello debido a que las empresas textiles buscan aumentar los niveles de producción maximizando los recursos disponibles; y mejorar sus proyecciones de ganancias a lo largo del tiempo. Para ello, es fundamental gestionar los productos a fabricar en función de sus recursos de materias primas y disponibilidad de tiempo. Este trabajo propone mejorar la toma de decisiones en la planificación de la producción textil mediante la aplicación de un modelo de optimización lineal multiobjetivo a la logística interna dentro de las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) del sector textil ecuatoriano. La aplicación de este modelo de optimización da como resultado un plan de producción equilibrado entre los objetivos relacionados con la maximización de beneficios y el uso del tiempo disponible para la producción. Como producto de este proyecto de titulación, se ha creado un modelo de optimización en base a un caso de estudio que se ejecuta mediante el software Gurobi. Se presentan además, los resultados del mencionado modelo con los datos proporcionados por el caso de estudio y la discusión de los resultados a través de un análisis de sensibilidad.

Palabras claves: Textil. Optimización multiobjetivo. Logística interna. Toma de decisiones.



Abstract:

In recent years, studies dedicated to obtaining optimization models have been published, many of which have been applied in the textile sector. According to the National Institute of Statistics and Censuses of Ecuador, this sector is part of the economic development areas of a country, being one of the main sources of employment. Therefore, this need arises to review the state of the art that has been published on optimization models, starting with the selection of research questions, digital databases and search terms to later apply practical and methodological filters, which allow us make a systematic review of the results obtained on the optimization models. In this way, a complete summary of the areas that are being optimized and the methods used to solve the problems in the textile sector is compiled. All this because textile companies seek to increase production levels by maximizing available resources; and improve projections income over time. For this, it is essential to manage the products to be manufactured based on their raw material resources and time availability. This work proposes to improve decision-making in the planning of textile production by applying a multi-objective linear optimization model to internal logistics within Micro, Small and Medium Enterprises (MSMEs) of the Ecuadorian textile sector. The application of this optimization model results in a balanced production plan between the objectives related to profit maximization and the use of the time available for production. It also includes the description of a case study, the definition of the optimization model that is executed using the Gurobi solver. The results of the application of the optimization model are also presented with the data provided by the case study and the discussion of the results through a sensitivity analysis.

Keywords: Textile. Multi-objective optimization. Internal logistics. Decision making.



Índice del Trabajo

Capítulo 1	17
1. Introducción	17
1.1. Antecedentes y Motivación	17
1.2. Planteamiento del problema	17
1.3. Objetivos Generales y Específicos.....	18
1.4. Metodología del proyecto de titulación	18
Capítulo 2	21
2. Marco teórico y trabajos relacionados	21
2.1. Antecedentes del sector textil	21
2.2. Descripción y organización de las MIPYMES.....	21
2.3. Descripción del proceso de producción de las MIPYMES textiles.....	22
2.4. Descripción las MIPYMES textiles del caso de estudio	25
2.5. Logística.....	25
2.6. Bases teóricas sobre modelos de optimización	27
2.7. Métodos usados para optimizar un modelo matemático.....	28
2.8. Principio de Pareto	29
2.9. Trabajos relacionados.....	29
Capítulo 3	40
3. Modelo de optimización	40
3.1. Antecedentes y alcance.....	40
3.2. Materiales y métodos	40
3.3. Construcción del modelo de optimización.....	41
3.4. Supuestos del modelo de optimización	42
3.5. Algoritmos y procesos.....	43
3.6. Construcción de herramienta de toma de decisiones.....	48
Capítulo 4	49
4. Resultados y discusión del proyecto.....	49
4.1. Casos de estudio	49
4.2. Caso de estudio 1	50
4.2.1. Análisis de Sensibilidad Caso de Estudio 1	52



4.3. Caso de estudio 2.....	57
4.3.1. Análisis de sensibilidad caso de estudio 2.....	59
4.4. Ventajas y desventajas del modelo de optimización	60
4.5. Herramienta para la toma de decisiones.....	61
5. Conclusiones y trabajos futuros.....	62
5.1. Conclusiones.....	62
5.2. Trabajos futuros	63
Referencias	64
Anexos	68
Anexo 1: Artículo aceptado para el ICAT 2021	68
Anexo 2: Artículo aceptado para el ICAT 2021	82
Anexo 3: Manual de Usuario del modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística interna enfocado a la optimización de la producción y maximización de las ganancias de las MIPYMES textiles en el cantón Cuenca.	97



Índice de Figuras

Figura 1. . Metodología de investigación cuantitativa de Hernández. Fuente: Fernández y Baptista (2014)	19
Figura 2. Metodología de Fink Fuente: Fink (2013)	30
Figura 3. Número de artículos filtrados. Fuente: Elaboración Propia	34
Figura 4. Enfoque de optimización multiobjetivo mezcla. Fuente: Elaboración Propia	41
Figura 5. Enfoque de optimización multiobjetivo jerárquico. Fuente: Elaboración Propia	42
Figura 6. Modelo del ciclo de vida RAD. Fuente Maida, EG(2015)	48
Figura 7 Valor de ventas para los casos de estudio. Fuente Caso de Estudio 1 y 2. ..	49
Figura 8. Valor de ventas para el año 2019. Fuente Caso de Estudio 1.	50
Figura 9. Cantidad de tela en metros en inventario. Fuente Empresa Textil.....	56
Figura 10. Valor de ventas para el año 2019. Fuente Caso de Estudio 2.	57



Índice de tablas

Tabla 1. Términos de búsqueda y cadena de búsqueda. Fuente: Elaboración propia.	31
Tabla 2. Número de artículos por base de datos digital	32
Tabla 3. Métodos de Optimización y área en la que se está usando Fuente: Elaboración Propia	35
Tabla 4. Trabajos relacionados con la optimización. Fuente: Elaboración Propia	38
Tabla 5. Definición de índices, parámetros, y variables del modelo de optimización. Fuente: Elaboración Propia	46
Tabla 6. Comparación del valor de beneficio neto entre los valores históricos y el modelo de optimización lineal. Fuente Elaboración Propia	51
Tabla 7. Resultados del modelo de optimización en un escenario óptimo para diciembre. Fuente Elaboración Propia.	51
Tabla 8. Resultados del modelo de optimización en un escenario normal para agosto. Fuente Elaboración Propia.	52
Tabla 9. Resultados del modelo de optimización en un escenario pésimo para septiembre. Fuente Elaboración Propia.	52
Tabla 10. Análisis de sensibilidad para el tipo de tela disponible en un escenario óptimo. Fuente Elaboración Propia.	53
Tabla 11. Análisis de sensibilidad para el tipo de tela disponible en un escenario pesimista. Fuente: Elaboración Propia	54
Tabla 12. Análisis de sensibilidad para el tipo de tela disponible en un escenario normal. Fuente: Elaboración Propia.	55
Tabla 13. Análisis de sensibilidad por tiempo disponible. Fuente: Elaboración Propia.	56
Tabla 14. Tabla de resultados para el caso de estudio 2. Fuente: Elaboración Propia.	58
Tabla 15. Cantidad de productos para cada escenario. Fuente: Elaboración Propia. .	58
Tabla 16. Análisis de sensibilidad lado derecho escenario óptimo. Fuente: Elaboración Propia.	59
Tabla 17. Análisis de sensibilidad lado derecho escenario pésimo. Fuente: Elaboración Propia.	60
Tabla 18. Análisis de sensibilidad lado derecho escenario normal. Fuente: Elaboración Propia.	60



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

María Belén Toledo Illescas en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística interna enfocado a la optimización de la producción y maximización de las ganancias de las MIPYMES textiles en el cantón Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 18 de febrero de 2022

Ma. Belén Toledo

María Belén Toledo Illescas

C.I: 0105380307



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Christian Marcelo Torres Torres en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística interna enfocado a la optimización de la producción y maximización de las ganancias de las MIPYMES textiles en el cantón Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 18 de febrero de 2022

Christian Marcelo Torres Torres

C.I: 0106133077



Cláusula de Propiedad Intelectual

María Belén Toledo Illescas, autora del trabajo de titulación “Modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística interna enfocado a la optimización de la producción y maximización de las ganancias de las MIPYMES textiles en el cantón Cuenca”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

Cuenca, 18 de febrero de 2022

María Belén Toledo Illescas

C.I: 0105380307



Cláusula de Propiedad Intelectual

Christian Marcelo Torres Torres, autor del trabajo de titulación "Modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística interna enfocado a la optimización de la producción y maximización de las ganancias de las MIPYMES textiles en el cantón Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

Cuenca, 18 de febrero de 2022

Christian Marcelo Torres Torres

C.I: 0106133077



Listado de Abreviaturas

AEC: Asociación Española para la Calidad

AITE: Asociación De Industriales Textiles Del Ecuador

CASE: Ingeniería de Software Asistida por Computadora (Computer Aided Software Engineering)

CLM: Consejo de Gestión Logística (Council Logistics Management)

ICAT: Conferencia Internacional de Tecnologías Aplicadas (International Conference on Applied Technologies)

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

MIPYMES: Micro, Pequeñas Y Medianas Empresas

PDNDP: Problema de diseño de red de entrega de paquetes (Parcel delivery Network Design Problem)

RAD: Desarrollo de Aplicaciones Rápidas (Rapid Application Development)

SUMA: Incorporación de conceptos de Sostenibilidad a los modelos de gestión de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa textil (Incorporating Sustainability concepts to management models of textile Micro, Small and Medium Enterprises)



Agradecimiento

A Dios por la vida, la salud y por mi maravillosa familia.

A mis padres Martín y Carmen y hermanos José y Carmita por siempre apoyarme, tenerme paciencia y no dejarme sola cuando todo parecía difícil.

A mis amigos Gaby, Vanessa, Diego y Jhon por estos años de amistad y hacer más llevadera la vida universitaria. ¡Lo logramos amigos!

A mi amigo y compañero de tesis Christian por compartir durante estos años las alegrías, tristezas, desvelos y horas de estudio que nos han acercado a cumplir nuestro sueño, gracias amigo.

Al Ing. Jaime Veintimilla, Ing. Juan Llivisaca, Ing. Mario Peña por su tiempo, guía y apoyo ofrecido para la elaboración de este trabajo de titulación.

A cada uno de los profesores que compartió sus conocimientos y experiencias a través de las aulas y salas virtuales. De manera especial a la Ing. Magali Mejía por su apoyo y por guiarnos a ser mejores personas y profesionales.

Finalmente al grupo de investigación IMAGINE, al proyecto SUMA, a su directora la Ing. Lorena Sigüenza y las empresas casos de estudio los cuales confiaron en nosotros y nos dieron la oportunidad de trabajar con ellos.

María Belén Toledo Illescas



Agradecimiento

Principalmente a Dios por guiarme, agradezco a mi madre Teresa, quien siempre me ha apoyado desde el primer día en la universidad y que sin su apoyo esto no sería posible.

A mi hermana Josseline quien siempre estuvo conmigo en todos los momentos de mi vida.

A los docentes que me acompañaron a lo largo de toda mi vida universitaria y me brindaron su conocimiento, a si también a los tutores de este proyecto de titulación que nos daban sus consejos y guiaron en el transcurso de este trabajo de titulación.

Christian Marcelo Torres Torres



Dedicatoria

A Dios por su amor y bondad, por darme la vida y la salud para cumplir mis objetivos.

A mi madre Carmen, por sus consejos, su paciencia y amor incondicional.

A mi padre Martin, por todos los sacrificios que ha hecho por darme lo mejor.

A mi hermano José, por ser mi ejemplo a seguir y enseñarme que puedo lograr todo lo que me propongo.

A mi hermana Carmita, por motivarme a ser cada día mejor y enseñarme a nunca rendirme.

A mis abuelos, tías, primos y amigos que siempre confiaron en mí.

María Belén Toledo Illescas



Dedicatoria

A mi madre y hermana que gracias a su apoyo, esfuerzo y cariño han logrado hacer esto posible, las personas más importantes en mi vida. A toda mi familia por apoyarme y darme ánimos para seguir adelante siempre.

A mi tía Carmen quien considero como una hermana, que con sus consejos y apoyo incondicional y preocupación me ha alentado a seguir adelante.

A mis amigos, quienes han estado conmigo en todos los momentos buenos y malos de esta etapa universitaria, a mi amiga María Belén que gracias a su apoyo y amistad me ha ayudado lograr salir adelante a pesar de las adversidades.

Christian Marcelo Torres Torres



Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Antecedentes y Motivación

1.1.1. Antecedentes

Según el INEC el sector textil es una de las áreas de desarrollo económico que se caracteriza por el despliegue de empleo e ingresos para las familias del Ecuador (Visualizador de Estadísticas Empresariales | INEC., 2021). En la actualidad, una gran parte de las empresas del sector textil ha sufrido cambios los cuales han afectado a los procesos logísticos internos como: demanda de productos, ventas, servicio al cliente, transporte, administración de inventarios y procesamiento de órdenes. Los procesos de logística, producción y ventas son importantes en cualquier empresa textil y se consideran las áreas más conflictivas dentro de una empresa. Estas áreas presentan conflictos debido a que, en muchos casos, el equipo de ventas quiere ofrecer una mayor cantidad de productos en el menor tiempo posible, pero el departamento de producción requiere tomarse el tiempo para disponer de productos terminados. Por lo que, las empresas textiles se han visto obligadas a innovar y adaptarse mediante estrategias de optimización que contribuyan en la generación de valor y enfrenten la intensa competencia tanto en el mercado nacional como internacional (Olivos et al., 2015).

1.1.2. Motivación

Una de las maneras para dar solución a los cambios que afronta el sector textil es la optimización de recursos a través del uso de modelos matemáticos. Tal actividad implica la generación de una herramienta que permita la toma de decisiones estratégicas que ofrezca un análisis operativo de la eficiencia de las actividades realizadas, siendo también un instrumento de investigación y pronóstico (Correa et al., 2014).

1.2. Planteamiento del problema

A lo largo de los años se han desarrollado diversos métodos clásicos como la programación lineal, entera, binaria y metaheurísticas tales como los algoritmos genéticos o las colonias de hormigas dentro de la investigación operativa, estos métodos de optimización tratan de localizar en el espacio de búsqueda una solución óptima, buscando alcanzar un óptimo global mediante la flexibilidad en el manejo del problema; aunque no se garantice la convergencia ya que se desconoce la calidad de la solución obtenida (Badea et al., 2016).



En base a la revisión sistemática de literatura y teniendo en cuenta los modelos de optimización ya existentes, se ha decidido implementar un nuevo modelo de optimización, este modelo hará uso de la programación lineal multiobjetivo, optimizando principalmente varias funciones objetivo compuestas por los precios, costos y número de productos.

1.3. Objetivos Generales y Específicos

1.3.1. Objetivo General

Proponer un modelo de programación lineal multiobjetivo para maximizar el desempeño efectivo de la producción, maximizando las ganancias de micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) del sector textil.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar una revisión sistemática de las metodologías en las investigaciones referentes a la optimización de producción y ganancias en el sector textil.
- Diseñar, calibrar y validar un modelo de programación lineal multiobjetivo.
- Programar una herramienta para la toma de decisiones de MIPYMES del sector textil que incluya el modelo de programación lineal multiobjetivo.
- Observar e interpretar el comportamiento del modelo de programación lineal multiobjetivo mediante el análisis de sensibilidad y comparar los resultados obtenidos con los datos reales de MIPYMES del sector textil.

1.4. Metodología del proyecto de titulación

Para la elaboración del modelo de optimización de la logística interna de las MIPYMES textiles se tomará en consideración la metodología de investigación cuantitativa de Hernández (2014) con algunas modificaciones para que se ajuste a este trabajo de titulación, iniciando esta metodología con el planteamiento de ideas y de problemas de investigación, seguido del desarrollo de una base teórica mediante una revisión del estado del arte para luego definir y elaborar un modelo de optimización con sus respectivas variables, restricciones y funciones objetivo para posteriormente desarrollar un software que haga uso del moldeo de optimización y nos permita con mayor facilidad analizar los datos dados por el modelo de optimización y un reporte de estos resultados.

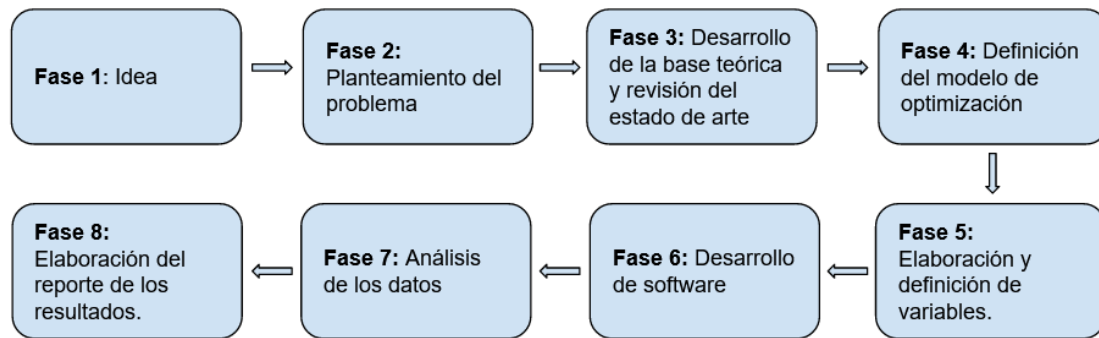


Figura 1. . Metodología de investigación cuantitativa de Hernández. Fuente: Fernández y Baptista (2014)

Las fases presentadas en la Figura 1 se definen de la siguiente manera:

1. **Idea:** en esta fase se han originado las ideas de investigación sobre la aplicación de modelos de optimización en un dominio textil enfocado a la optimización del beneficio en las MIPYMES textiles.
2. **Planteamiento del problema:** en esta fase se plantea la problemática que da origen a la investigación. En el planteamiento del problema, algunos elementos que deben ser incluidos son: los objetivos que persigue la investigación, la motivación y la viabilidad. Lo cual se encuentra detallado en el Capítulo 1.
3. **Desarrollo de la base teórica y revisión del estado del arte:** teniendo clara la problemática, el contexto y la solución a implementar, el siguiente paso es conocer el fundamento teórico y el estado del arte. Esto con la finalidad de dar a conocer los estudios que se están llevando a cabo en el ámbito de la problemática planteada, su realidad y su contexto. Es importante mencionar que dentro de esta fase para la revisión del estado del arte se ha llevado a cabo una revisión sistemática de la literatura en la que se siguió la metodología de Fink (2013). El detalle de esta fase se encuentra en el Capítulo 2.
4. **Selección del modelo de optimización:** en base al estado de los diferentes casos de estudio se definen las restricciones y las funciones objetivo que intervendrán en el modelo. Estas funciones dependen de los datos proporcionados por las MIPYMES casos de estudio. Esta fase la podemos encontrar detallada en el Capítulo 3.
5. **Elaboración y definición de variables:** de acuerdo con la definición del modelo de optimización se definen las variables, índices, parámetros que intervienen. Lo cual se encuentra detallado en el Capítulo 3.
6. **Desarrollo del software:** En esta fase se integran los modelos de optimización junto a una interfaz gráfica de usuario. La herramienta apoya a que el usuario final pueda obtener varios resultados en base a los datos ingresados. Para la construcción del software se emplea la metodología de desarrollo conocida como diseño rápido de aplicaciones RAD (Rapid Application Development), detallada en el Capítulo 3.
7. **Análisis de los datos:** esta fase se centra principalmente en analizar y explorar los datos dados por las MIPYMES caso de estudio y evaluar su confiabilidad y validez para la realización de pruebas y posterior obtención



de resultado según los datos ingresados. En el capítulo 3 se indica cómo se realizó este proceso.

- 8. Elaboración del reporte de resultados:** en esta fase final se analizan y presentan los resultados obtenidos al ejecutar el modelo de optimización. Lo cual se explicará detalladamente en el Capítulo 4.

Capítulo 2

2. Marco teórico y trabajos relacionados

2.1. Antecedentes del sector textil

Desde la época colonial cuando la lana de ovejas era usada para fabricar tejidos, ya existía la industria textil ecuatoriana, donde sus primeras industrias se dedicaron al procesamiento de lana y no fue hasta inicios del siglo XX donde se introdujo el algodón como una fibra y en 1950 se consolidó el uso de la fibra de algodón (Asociación De Industriales Textiles Del Ecuador [AITE], 2015).

Las primeras empresas que se dedicaron mayormente al sector textil dentro del Ecuador estaban ubicadas en las provincias de Pichincha, Guayas, Azuay, Imbabura y Tungurahua. Este sector se ha diversificado lo que ha permitido fabricar una gran cantidad de productos textil que van desde el hilado y los tejidos de fibras hasta la elaboración de prendas de vestir (Asociación De Industriales Textiles Del Ecuador [AITE], 2015).

En la actualidad, la industria textil y confección es considerada la tercera industria más grande del sector manufacturero del Ecuador y aporta más del 7% al PIB manufacturero nacional. Además, este sector es el segundo manufacturero que más mano de obra emplea según el INEC, existen alrededor de 158.000 personas que laboran directamente en empresas del sector textil y confección, sin contar con los empleos indirectos que genera, siendo 33 empresas las más productivas que están encadenadas al sector textil y confección (Asociación De Industriales Textiles Del Ecuador [AITE], 2015).

Las empresas textiles ecuatorianas por lo general centran su mayor parte de ventas al mercado local, siendo la década de los 90 el auge para las exportaciones de sus productos. En el año 2000, con la dolarización existió un incremento de las exportaciones con un 8.14% con respecto al año anterior, mientras que en el año de 2013 el sector textil tuvo un récord histórico obteniendo más de 114 millones de dólares por las exportaciones. Esta industria ha optado por invertir en la adquisición de maquinaria para poder competir con el mercado global y capacitación del personal para incrementar su productividad y eficiencia (Asociación De Industriales Textiles Del Ecuador [AITE], 2015).

2.2. Descripción y organización de las MIPYMES

En este apartado se describen todos los conceptos relacionados a las MIPYMES que deben tomarse en cuenta para contextualizar el desarrollo de este trabajo de titulación.

2.2.1. Descripción de las MIPYMES

Las micro, pequeñas y medianas empresas denominadas como MIPYMES existentes en el Ecuador, son las responsables de la generación de plazas de empleo, crecimiento de la producción e innovación en el país. Por lo que, el



Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) en el 2018 en búsqueda de establecer mecanismos que faciliten el desarrollo de las MIPYMES estableció “mi primer certificado INEN” con el objetivo de impulsar el fortalecimiento y el crecimiento de estas empresas en base a sistemas de gestión de calidad (Mipymes y Organizaciones de Economía Popular y Solidaria son una pieza clave para la economía del país – Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2018)

2.2.2. Organización de las MIPYMES

Las MIPYMES tienen una naturaleza de orden jurídico denominadas sociedades y de orden no jurídico o persona natural, con un volumen de ventas y un número de trabajadores y estas se pueden clasificar en:

- **Microempresas:** Unidad productiva que tienen entre 1 a 9 trabajadores y el valor de ventas e ingresos anuales que manejan son menores de cien mil dólares (\$ 100.000,00).
- **Pequeñas empresas:** Unidad productiva que tienen entre 10 a 49 trabajadores y el valor de ventas e ingresos anuales que manejan se encuentran entre cien mil uno dólares (\$ 100.001,00) y un millón de dólares (\$ 1.000.000,00).
- **Medianas empresas:** Unidad productiva que tienen entre 50 a 199 trabajadores y el valor de ventas e ingresos anuales que manejan se encuentran entre un millón de dólares (\$ 1.000.001,00) y cinco millones de dólares (\$ 5.000.000,00). (Mipymes y Organizaciones de Economía Popular y Solidaria son una pieza clave para la economía del país – Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2018).

2.3. Descripción del proceso de producción de las MIPYMES textiles

El proceso textil inicia con el tratamiento de fibras textiles con la finalidad de obtener hilos y tejidos que le permitan mediante tareas y procesos técnicos elaborar un producto final, es decir, el proceso textil está formado por una serie de procesos relacionados que van desde la obtención de fibras hasta la confección. El proceso de producción se puede dividir en dos partes:

- La industria textil propiamente dicha.
- La industria de la confección.

2.3.1. La industria textil propiamente dicha

A esta sección se la conoce de esta manera ya que el término textil proviene del latín *texere* que quiere decir tejer. Se inicia con el hilo como la principal materia



prima usada para la elaboración de tejidos que serán procesados y transformados en un producto final. Aquí se sigue el siguiente proceso:

- Fabricación de fibras químicas.
- Operaciones previas y preparatorias de la hilatura.
- Hilatura.
- Tisaje.

Fabricación de fibras químicas: Las fibras se dividen de acuerdo a su naturaleza, ya sean artificiales formadas por la transformación de celulosa o sintéticas procedentes originalmente del petróleo.

Operaciones previas y preparatorias de la hilatura: Las fibras en bruto deben pasar por un ciclo repetitivo de lavado, cardado y peinado hasta obtener un producto que pueda convertirse en hilo.

Hilatura: Es el proceso en el que se realiza el último afinado de la mecha de fibra para transformarla en hilo.

Tisaje: En esta fase se lleva a cabo una serie de pasos que conllevan a la elaboración de tejidos.

La tejeduría de calada o plana: se entrecruzan dos hilos denominados trama y urdimbre en una superficie uniforme.

La tejeduría de género de punto: se forma una malla la cual es enlazada en sentido transversal.

Ennoblecimiento textil: aquí se engloba al conjunto de tratamientos físicos, químicos o mecánicos como teñidos, estampados o acabados que darán características particulares a cada tejido.

2.3.2. La industria de la confección

Esta clasificación se basa en la transformación del tejido a un producto que estará dirigido a ser usado por un consumidor final. Las fases que la forman son:

- Diseño y patronaje
- Extendido, marcado y corte
- Confección, revisado y etiquetado
- Planchado
- Plegado, embalado y transportado
- Otros.

Diseño y patronaje: La fase de diseño representa el inicio de la actividad de confección aquí se realizan los bocetos de los modelos de prendas que serán fabricadas posteriormente, esta fase influirá notablemente en el éxito o fracaso que tendrá la colección de prendas de vestir. El proceso que sigue al diseño es

el patronaje el cual consiste en la realización de patrones y moldes para confeccionar la prenda estos deben ser uno por cada talla de las prendas a confeccionar. Los patrones le servirán al diseñador para tener un modelo de cómo se debe cortar y coser la prenda.

Extendido, marcado y corte: Dentro del proceso de corte se encuentra el extendido y el marcado, en este proceso se cortan los patrones de las de las prendas que se confeccionarán, una vez realizado el corte se identifican las piezas y se agrupa por tallas. En el proceso de extendido como su nombre lo dice, se extienden varias pilas de tela sobre una mesa de corte las cuales serán marcadas y cortadas según las exigencias de la producción. El marcado solamente se da en el proceso de corte manual. Los sistemas de corte usados son:

- Corte manual o convencional.
- Corte por presión o Troquel.
- Corte automático.

Confección: En este proceso se da la forma y los acabados finales a los productos según el uso que le dará el consumidor final. Las áreas de confección están formadas por puestos de cosido que es el sitio donde un operador une las piezas de tejido y luego se les dan acabados finales como ojales y botones antes de obtener un producto final.

Revisado y etiquetado: Al ya tener un producto que ha terminado el proceso de confección se lo revisa uno a uno ya sea manualmente o con una máquina para verificar que la prenda no tenga defectos y haya sido confeccionada de manera adecuada. De igual manera que se realiza el revisado, se hace el etiquetado que consiste en la colocación de etiquetas informativas con la talla, datos del fabricante e instrucciones de lavado y planchado.

Planchado: Para que la prenda realizada tenga una mejor apariencia a la vista del consumidor final, se realiza un proceso mayormente manual de planchado que se realiza teniendo en cuenta las características de cada producto.

Plegado, embalado y transportado: Después del planchado se realiza el plegado y embalaje que deberá adaptarse a la presentación que se dará al producto final y esto se lo puede realizar de manera automática o manual. Posteriormente el producto final deberá ser transportado a los almacenes o bodegas antes de ser distribuidos para la venta.

Otros: El proceso textil también puede estar formado por otras fases dependiendo de los productos que se realicen como bordado y acolchado. Los bordados consisten en la realización de un conjunto de tejidos decorativos con hilos de varios colores; mientras que los acolchados consisten en la colocación y costura de láminas de tela (algodón, plumón, etc.) que darán al producto una



estructura más gruesa y confortable (El Proceso Textil - Guía de Prevención de Riesgos Laborales, 2013).

2.4. Descripción las MIPYMES textiles del caso de estudio

Para este trabajo de titulación se trabajó con los datos proporcionados por dos MIPYMES textiles del cantón Cuenca.

2.4.1. Caso de estudio 1

La empresa del caso de estudio opera desde hace 28 años trabajando principalmente con telas de algodón, seda artificial y poliéster obtenidos de productores nacionales e internacionales. La empresa dedica principalmente sus operaciones a la elaboración de ropa de descanso especializándose en pijamas, ropa para el hogar y establecimientos de salud que ofrezcan tratamientos o terapias de relajación, y cuentan con diseños inspirados en la comodidad y estilo de vida de sus consumidores finales.

2.4.2. Caso de estudio 2

La empresa del caso de estudio 2 busca convertir los hogares ecuatorianos en espacios confortables y atractivos, ofreciéndole a sus consumidores diseños únicos, acabados perfectos y materiales garantizados. La empresa elabora especialmente lencería de dormitorio y hogar como: sábanas, edredones planos, cojines, edredones esféricos, ajuares para cunas de bebe, pies de cama, protectores de colchón, toallas entre otros. Además brindan a los consumidores asesorías textiles para la decoración de interiores.

2.5. Logística

En esta sección se describen todos los conceptos relacionados a logística que deben tomarse en cuenta para contextualizar el desarrollo de este trabajo de titulación.

2.5.1. El origen de la logística

La palabra logística proviene del vocablo griego *logistikos* que significa diestro en cálculo o sabe calcular. En la antigua Grecia se la usaba como referencia a “hacer algo lógico”, mientras que el primer uso que se le dio en la actualidad fue por Antoine-Henri Jomini quien en su compendio de guerra hizo referencia a una teoría de distribución y abastecimiento de tropas y estrategias de guerra. Entonces, se concibió el término logística como concepto del manejo de actividades que se encuentran relacionadas con el almacenamiento y movimiento de manera coordinada. En 1844 el matemático francés Jules Juvenel Dupuit le dio un valor agregado al término logística ya que tuvo la idea de asociarlo comercialmente con los costos de inventario y costos de transporte. En 1962 se fundó la CLM (Council Logistics Management) formada con el objetivo de captar la esencia de la dirección o gerencia de la logística en los negocios y

el comercio. En 1985 después de recopilar conceptos referentes a reducción de costos, flujos de tecnología, mercadotecnia y administración de calidad el CLM define logística como: “Una parte del proceso de la cadena de suministros que planea, implementa y controla el eficiente y efectivo flujo y almacenamiento de bienes, servicios e información relacionada del punto de origen al punto de consumo con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente”. En el 2003 contrastando los avances y el surgimiento de nuevas prácticas afines al propósito logístico, el CLM replanteó su definición de logística como logística inversa la cual se define como: “Una parte del proceso de la cadena de suministros que planea implementa y controla el eficiente y efectivo flujo y almacenamiento hacia delante y en reversa de bienes, servicios e información relacionada del punto de origen al punto de consumo con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente”. Entonces teóricamente la logística comprende el conjunto de procesos de estrategias de planeación, abastecimiento, fabricación, distribución y venta desde los proveedores hasta el consumidor final permitiendo optimizar las variables como costos, calidad, flexibilidad, servicios e innovación que determinan una ventaja competitiva para el negocio (Garay, 2017).

2.5.2. Gestión de la logística

Según la AEC (Asociación Española para la Calidad, 2019) la gestión logística puede ser definida como la gestión del flujo de productos, materias primas, información y servicios a lo largo de toda la cadena de suministros de un producto o servicio. En concreto, se busca garantizar la disponibilidad de un elemento determinado en una forma y tiempo óptimo. La gestión logística está formada por la gestión de varios elementos como:

- Los almacenes.
- Los medios de transporte.
- Los procesos logísticos.
- La información asociada.

Como se mencionó anteriormente la logística ha sufrido cambios a lo largo del tiempo y una consecuencia son los cambios en la estructura de la cadena de valor de un negocio. Algunas de las ventajas que aporta la gestión logística a las organizaciones son:

- Reducción de costes.
- Capacidad de acceso a mercados geográficamente más grandes.
- Aumento de la competitividad de la organización.
- Mejora de la satisfacción de los clientes.

2.6. Bases teóricas sobre modelos de optimización

A continuación se describen todos los conceptos relacionados a optimización que deben tomarse en cuenta para contextualizar el desarrollo de este trabajo de titulación.

2.6.1. Introducción a los modelos de optimización

Según Winston (2005) la investigación de operaciones también conocida como ciencia de la administración, es un enfoque científico para la toma de decisiones que se encarga de buscar el mejor diseño para las operaciones de un sistema mediante la regulación de condiciones que requieren la asignación de recursos escasos.

El término de investigación de operaciones fue usado por primera vez durante la segunda guerra mundial, cuando los altos mandos militares británicos solicitaron a los ingenieros y científicos analizar problemas como despliegues de radares, control de convoyes, bombarderos y colocación de minas. El enfoque científico que se le dio fue para la toma de decisiones, para lo cual se hacía uso de uno a más modelos matemáticos

En este contexto, los modelos matemáticos son representaciones matemáticas de situaciones reales que pueden ser usadas para tomar decisiones o simplemente para comprender la situación real representada.

2.6.2. Modelos de optimización

Según Winston los modelos de optimización tiene como finalidad encontrar los valores que optimicen ya sea maximizando o minimizando una función que satisfaga un conjunto de restricciones. Los elementos que forman parte de un modelo de optimización son:

- Función objetivo.
- Variables de decisión.
- Variables de estado.
- Restricciones.

Función objetivo: En los modelos de optimización siempre hay como mínimo una función objetivo. Una función objetivo es una expresión matemática que representa una cantidad que se va a optimizar y esta puede ser una minimización o maximización.

Variables de decisión: Los valores que pueden tomar estas variables se encuentran bajo el control de la persona que elabora el modelo e influyen en el desempeño que tendrá el modelo.



VARIABLES DE ESTADO: Son las que describen el estado en el que se encuentra un sistema o uno de sus componentes al inicio, final o durante un tiempo de ejecución.

RESTRICCIONES: Serán las condiciones o limitantes que deberán satisfacer las variables de decisión para que un modelo de optimización obtenga una solución.

2.6.3. Modelos lineales y no lineales

Un modelo lineal es aquel en el que las variables de decisión aparecen en las restricciones y en la función objetivo del modelo, multiplicadas por constantes y colocadas en forma de sumas, es decir, una combinación lineal de las mismas. Se consideran modelos no lineales cuando un modelo no es lineal, es decir, la función objetivo o alguna de sus restricciones no son lineales.

2.7. Métodos usados para optimizar un modelo matemático

A lo largo de los años se han desarrollado diversos métodos de optimización dentro de la investigación operativa, algunos de estos métodos son:

Programación lineal: La programación lineal es una técnica que permite la optimización de una función objetivo lineal sujeta a la aplicación de diversas restricciones expresadas mediante un sistema de ecuaciones e inecuaciones lineales.

Programación lineal entera: En este tipo de problemas las variables de decisión sólo pueden tomar valores enteros, los coeficientes que intervienen en el problema también deben ser enteros mientras que la función objetivo y las restricciones son lineales.

Programación lineal binaria: En estos problemas el sistema de ecuaciones a resolver será lineal además interviene una variable binaria la cual solo puede tomar valores de 1 o 0. Y estas variables son usadas para solucionar problemas de inclusión o exclusión (Rodríguez, 2016)

Programación multiobjetivo: La programación multiobjetivo permite resolver modelos con varias funciones objetivo revelando su robustez y mostrando cómo puede contribuir a buscar el equilibrio entre los principales objetivos (Ahlaqqach, 2017)

Algoritmo genético: Estos algoritmos trabajan sobre un conjunto de soluciones o una población que son representados como una cadena binaria o cromosomas (Vélez & Montoya, 2017).

Colonias de hormigas: Este método metaheurístico está basado en el comportamiento real de las hormigas y es una técnica probabilística que ayuda a encontrar las rutas o caminos óptimos en grafos (Algarín, 2010).



2.8. Principio de Pareto

El principio de Pareto es conocido comúnmente como la regla 80/20 y permite asignar un orden de prioridades permitiendo identificar las fallas que pueden estar presentes en una empresa y así establecer estrategias para afrontarlas. Este principio o regla nos indica que cuando se trata de la mayoría de situaciones que ocurren en un escenario el 80% de las consecuencias se dan debido al 20% de las acciones o esto también se puede interpretar como que aunque se presenten muchos factores que conllevan a una causa son pocos los responsables de ese evento. (Souza, 2019)

2.9. Trabajos relacionados

En esta sección se presenta una revisión sistemática de la literatura que tiene como finalidad determinar el estado actual de la investigación que se ha llevado a cabo durante los últimos cinco años. La revisión establece la línea base de los modelos de optimización en la industria textil y ayuda a cumplir con los objetivos propuestos en este trabajo de titulación. Como producto de esta revisión se ha podido generar un artículo científico titulado “*Optimization Models Used in the Textile Sector: A Systematic Review*” (anexo 1) que fue presentado en la conferencia ICAT (Toledo et al., 2021).

2.9.1. Metodología de revisión

Para la realización de la revisión sistemática se utilizó la metodología de Fink (2013). En la Figura 2 se indican los pasos de esta metodología que fueron utilizados. Se inicia con la selección de preguntas de investigación, selección de bases de datos, selección de palabras clave, establecer criterios de inclusión y exclusión de resultados y el análisis de los resultados obtenidos.

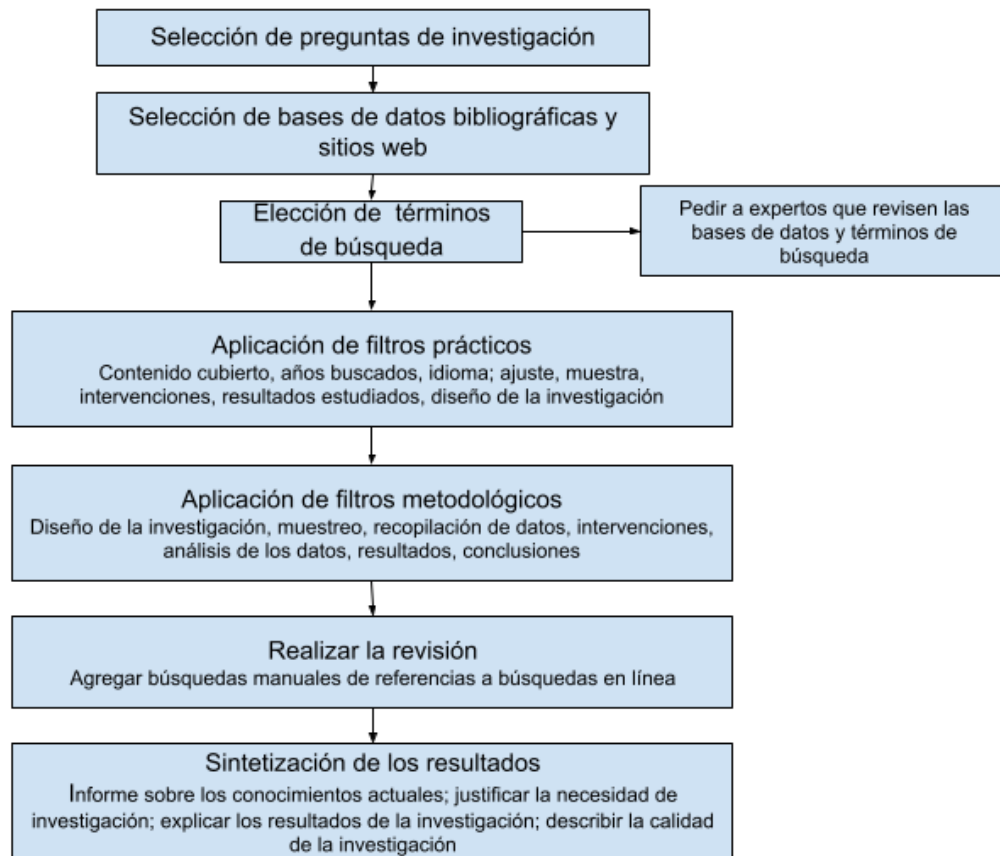


Figura 2. Metodología de Fink Fuente: Fink (2013)

2.9.1.1. Selección de preguntas de investigación.

Se plantea la siguiente pregunta de investigación para la revisión sistemática:

- ¿Qué modelos de optimización han sido aplicados al sector industrial textil?

Posteriormente se definen las sub preguntas de búsqueda, cuyo objetivo es obtener información específica que permita conocer la existencia de propuestas en el campo de investigación que se está estudiando.

- ¿Qué áreas del sector textil están siendo optimizadas?,
- ¿Por qué se desea averiguar sobre el manejo de los procesos de producción dentro de la logística interna?,
- ¿Qué herramientas o solucionadores se están usando para resolver los modelos de optimización?,
- ¿Cómo se están comparando los resultados del modelo de optimización con los datos reales de un caso de estudio?,
- ¿Qué indicadores se utilizan para validar los resultados del modelo de optimización?

2.9.1.2. Selección de bases de datos bibliográficas y sitios web

Para esta revisión sistemática se contemplan las siguientes bibliotecas Digitales:

- ACM Digital Library
- Google Académico
- SCOPUS
- Springer Link

2.9.1.3. Elección de términos de búsqueda

Para la realización de la búsqueda de artículos científicos en las librerías mencionadas en el apartado anterior, se plantea un grupo de palabras que unidas mediante conectores lógicos AND y OR se usarán para conformar cadenas de búsqueda.

En la Tabla 1 se presentan los términos de búsqueda usados para elaborar las cadenas de búsqueda. Se consideraron los términos en inglés y en español, y en algunos casos se usaron sinónimos de estos términos.

Inglés	Español	Conector
Model	Modelo	and
Multiobjective	Multiobjetivo	or / and
Linear Programming	Programación Lineal	or / and
Optimization	Optimización	and
Logistics	Logística	and
Production	Producción	or / and
Sales	Ventas	or / and
Textile	Textil	and
Ejemplo de Cadena de búsqueda	Model AND (multiobjective OR linear programming) AND optimization AND (logistics OR production OR sales) AND textile	

Tabla 1. Términos de búsqueda y cadena de búsqueda. Fuente: Elaboración propia.

Para la búsqueda de los artículos primarios para referenciar este trabajo se usaron diferentes cadenas de búsqueda según la base de datos en la que se trabajaba. Se obtuvieron 658 artículos resumidos en la Tabla 2.

Base de datos	Número de resultados
ACM Digital Library	105
Google Scholar	491
SCOPUS	22
Springer Link	40

Tabla 2. Número de artículos por base de datos digital

2.9.1.4. Aplicación de filtros para la extracción de información.

Para la búsqueda de los artículos primarios para referenciar este trabajo se aplicaron diferentes cadenas de búsqueda en las que se obtuvo 658 estudios relacionados con el tema de investigación, los cuales fueron filtrados mediante sus metadatos como título, palabras clave y resumen. Con estos resultados se seleccionaron los artículos que cumplan con algunos de los siguientes criterios:

- **Criterios de inclusión**
 - Estudios que presenten información sobre los métodos y técnicas de optimización en el sector textil.
 - Estudios que presenten información sobre las áreas de optimización en el sector textil.
 - Estudios que utilicen programación lineal para optimizar procesos del sector textil.
 - Estudios que utilicen programación multiobjetivo para optimizar procesos del sector textil.
- **Criterios de exclusión**
 - Estudios que se encuentren duplicados en las diferentes bibliotecas digitales.
 - Artículos en idiomas diferentes al inglés o español.
 - Estudios que superen los 6 años de antigüedad.

En la Figura 3 se presenta la cantidad de artículos que se obtuvo inicialmente en las bases de datos digitales, y se visualizó cómo después de la aplicación de filtros se seleccionaron 11 artículos para referenciar la revisión sistemática. Como se menciona en apartados anteriores y como observamos en la figura 3 se reduce significativamente el número de artículos a revisar. A continuación se explicará cómo fue el proceso para realizar el filtrado de artículos tomando como ejemplo ACM Digital Library. El proceso de selección de artículos inició con introducir la cadena de búsqueda en la barra de búsqueda de la base de datos digital, se configuraron los parámetros de búsqueda de acuerdo a la base de datos y se obtuvieron los resultados iniciales. Para esta base de datos fueron 105 artículos de los cuales se exportaron las citas en formato BibTeX el cual generó un archivo que se utilizara para procesar listas de referencias. Posteriormente se abrió este archivo con un gestor de referencias bibliográficas



(en este caso Zotero), donde se visualizó el tipo de elemento ya sea un artículo de revista académica, un libro, una tesis o un artículo de una conferencia. Además, se indicó el título de la publicación, el autor o autores, el resumen, la fecha de publicación y dependiendo del tipo de publicación se indicó el volumen, ejemplar, páginas, ISSN o DOI. A estos 105 artículos exportados se les aplicó el primer filtro que consistió en leer los títulos, los resúmenes y determinar su relación con el tema de este estudio. Luego, se eliminaron los documentos duplicados en la misma base de datos, debido a que existían casos en los que los autores de un artículo presentaron una actualización del mismo y este se registraba como un nuevo artículo por las fechas de publicación. En este caso se obtuvo 75 artículos que podían resultar útiles. En la aplicación de un segundo filtro se realizó un nuevo proceso de filtrado en el que nuevamente se dio lectura de los metadatos de los artículos teniendo esta vez en cuenta las fechas y el tipo de publicación que no se consideraron para el primer filtro. Además, se realizó una breve búsqueda manual en la base de datos esperando encontrar artículos más recientes y se constataron los resultados de las 4 bases de datos para eliminar los duplicados entre las bases. Finalizando esta segunda etapa de filtrado el número de artículos obtenido fue 32. En la aplicación del tercer filtro se tomó en cuenta los criterios de inclusión y exclusión que se mencionaron en la sección anterior obteniendo un total de 6 artículos de los cuales se procedió a dar lectura al texto completo de las publicaciones. En algunos casos fue necesario descartar documentos ya que algunos artículos replicaban lo que se realizaba en otro artículo, otros no explicaban el método de optimización usado o no se indicaba si los resultados del modelo de optimización que planteaban resultaba útil o no para el caso de estudio en el que se lo implementó. Finalmente, obteniendo para esta base de datos digital un resultado de 3 artículos para hacer la revisión sistemática. Un proceso similar a este se realizó con las otras 3 bases digitales.

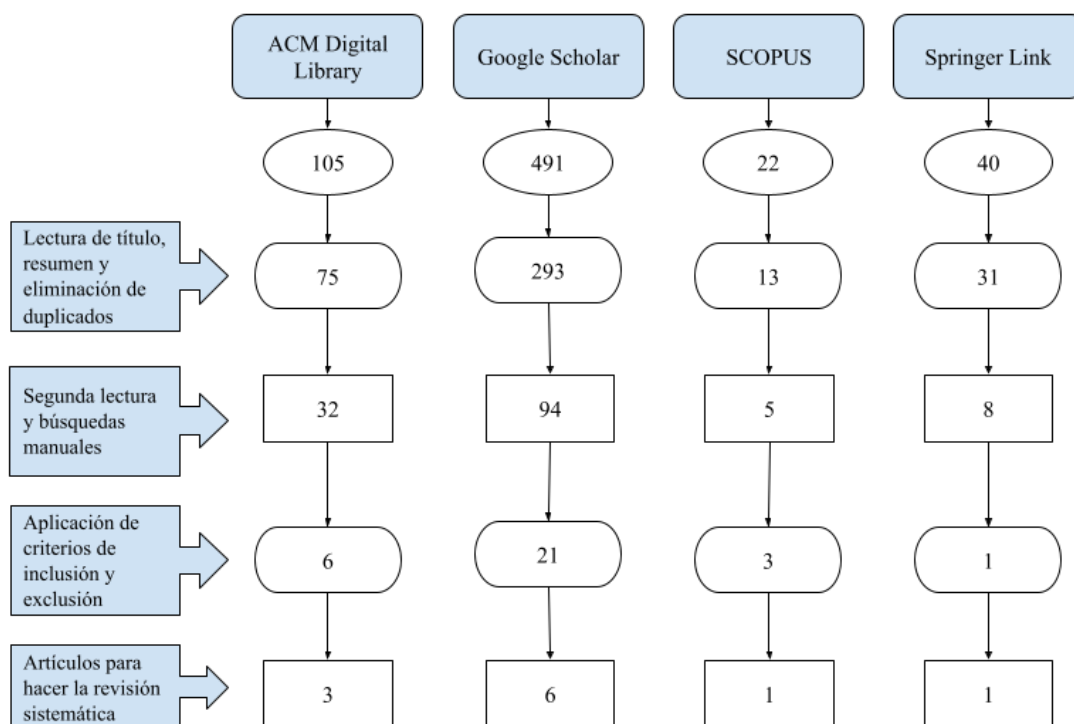


Figura 3. Número de artículos filtrados. Fuente: Elaboración Propia

2.9.1.5. Ejecución de la revisión sistemática

Mediante la ejecución de la revisión sistemática se ha permitido conocer las principales características de 10 métodos de optimización como son: programación no lineal de enteros mixtos, programación matemática determinista con múltiples funciones objetivo, cadenas de Markov, programación entera, programación multiobjetivo, Programación lineal entera con técnicas de Industria 4.0, programación lineal con el método de costo mínimo, Hub and Spoke con PDNDP (Parcel delivery Network Design Problem) y p-mediana y programación lineal, los cuales han sido utilizados en diferentes áreas del sector textil como se puede visualizar en la Tabla 3. Se puede notar que estos métodos pueden trabajar por sí solos o se los puede combinar con otros procesos de optimización o con técnicas estadísticas para mejorar el rendimiento del modelo.

Método	Área
Programación no lineal de enteros mixtos	Producción y distribución
Programación matemática determinista con múltiples funciones objetivo	Producción y ventas

Cadenas de Markov	Tiempos de producción
Programación entera	Producción y distribución
Programación multiobjetivo	Producción, ventas y transporte
Programación lineal entera con técnicas de Industria 4.0	Producción y Reciclaje (agua y energía)
Hub and Spoke con PDNDP (Parcel delivery Network Design Problem) y p-mediana.	Red de Distribución and transporte
Programación lineal con el método de costo mínimo	Transporte
Programación lineal	Cadena de suministros, mano de obra, gestión de inventarios

Tabla 3. Métodos de Optimización y área en la que se está usando Fuente: Elaboración Propia

Las áreas del sector textil que se han optimizado en los diferentes estudios son: Cadenas de suministros, producción y distribución, además de minimizar costos de mano de obra, transporte y gestión de inventarios, también se ha buscado optimizar el consumo de agua y energía en este sector.

Una de las áreas del sector textil en la que más se aplica la optimización, es la de las cadenas de producción. Por ejemplo, el modelo propuesto por Zhang (2015), en donde tienen como objetivo optimizar una red de producción y distribución de doble canal, se basa en la preventa y construye una cadena de suministros de los escalones compuesta por los fabricantes y distribuidores. La información extra que necesitan la obtienen mediante simulaciones numéricas retroalimentadas por los canales normales de distribución, el uso del modelo les permitió aumentar los ingresos por ventas, ganancias generales y resolver los problemas de exceso de inventario.

En el estudio realizado por Trifan (2015) se busca crear un modelo que optimice una estructura de surtido de confección mediante el uso de programación matemática determinista con múltiples funciones objetivo. El autor indica que al existir múltiples funciones objetivo, la solución óptima para una función no siempre será la óptima para las demás funciones, por lo que recurren al uso de una solución a la que denominan "el mejor compromiso". Tal solución será una solución no dominante, que se considera como una solución o pareto óptimo.

En algunas empresas del sector textil también se pueden encontrar que es necesario optimizar los procesos de distribución siendo el transporte el más importante. Esto debido a que en la actualidad los costos de contratación de este servicio son muy elevados y adquirir una flotilla para las empresas también



puede significar una gran inversión. Se debe tomar en cuenta el costo de los vehículos, y además, los costos y gastos para su correcto funcionamiento (combustible y mantenimiento). Ferrer (2019) en su estudio ha buscado la creación de un modelo de optimización mediante programación lineal orientado al transporte. Tal modelo permite disminuir los costos de transporte mediante el desarrollo de estrategias que consideren los costos de las variables y los volúmenes de carga que se puedan transportar.

Moreno (2020) de manera similar a Ferrer buscó obtener un modelo que permita optimizar la red de distribución de una empresa de transporte. Esto, teniendo en cuenta que estas empresas pueden llegar a tener un gran número de clientes con diferentes instalaciones y un elevado número de vehículos que gestionar. Por lo que, el modelo que se generó permite la asignación de mercancías a clientes en cada instalación de la red de distribución basándose en condiciones como la carga del vehículo.

Ahlaqqach (2017) indica que es necesario crear soluciones logísticas económicas y sostenibles, por lo que ha trabajado en un modelo de optimización multiobjetivo para problemas de recolección de textiles hospitalarios. Se busca la manera de optimizar problemas en las rutas de los vehículos. Además, con la programación lineal manejan la heterogeneidad de las flotas de vehículos y el cumplimiento de las ventanas de tiempo. Los resultados que se obtuvieron al combinar estos métodos fue un modelo robusto para la logística inversa que permitió encontrar el punto de equilibrio entre los objetivos principales.

Uno de los objetivos al crear una empresa siempre está ligado a la obtención de un mayor beneficio por lo que es necesario minimizar costos. Campo (2020) recomienda optimizar los costos de producción agregada, en donde se minimizaran los costos de mano de obra, gestión de inventarios y subcontratación. En este modelo se tomó en cuenta elementos tales como telas, pérdidas de productos, eficiencia de empleados y los tiempos que toma capacitar y entrenar a un nuevo empleado. Además, el modelo permitió identificar estrategias como aumento de capacidad de producción, de almacenamiento por proceso y la variación de la mano de obra en cada periodo de planificación.

Para la realización de este trabajo de titulación, a más de los artículos enfocados específicamente al sector textil se revisaron tesis y artículos dirigidos a la optimización en otros sectores en los cuales se pudo conocer más acerca de las diferentes áreas que se pueden optimizar dentro de la logística.

Según Barcos (2002) una de las áreas que se pueden optimizar es el transporte desde varios orígenes a varios destinos. Esto se puede lograr mediante el uso de colonias de hormigas.

Araujo (2009) en su artículo nos indica que para empresas del sector textil una de las áreas que se pueden optimizar son las cadenas de producción. Además, se enfoca también en la asignación de maquinaria para las órdenes de producción mediante el uso de la programación lineal entera.



Otro de los sectores que ha estado buscando maximizar sus ganancias mediante la programación Lineal es el formado por las fábricas de muebles. Caguana (2018) indicó a la empresa caso de estudio la cantidad de productos que debían fabricar y al comparar las utilidades reales obtenidas con los resultados del modelo noto que su modelo si podría resultar útil para este sector.

Correa (2014) mediante la programación lineal plantea un modelo que permita optimizar variables de costo, y tiempos de recorrido de los productos al interior de la empresa, obteniendo en sus resultados una maximización de ganancias y una minimización de costos.

En la Tabla 4 se visualiza un resumen de estudios que se han realizado sobre la optimización en el sector textil en donde se indica que área se optimizó, los métodos que fueron usados para solucionar el problema de optimización que se planteó y el por qué se usó esa técnica de optimización.

Teniendo en cuenta los modelos de optimización revisados, se ha decidido implementar un nuevo modelo de optimización el cual usará la programación lineal multiobjetivo, ya que la programación lineal puede ser usada para la optimización de ganancias, costos de mano de obra, gestión de inventarios, productividad y cadena de suministros permitiendo representar las condiciones reales y particulares de un proceso productivo, mientras la programación multiobjetivo permitirá resolver modelos en varias instancias contribuyendo a la búsqueda del equilibrio entre las principales funciones objetivo. Este modelo de optimización se profundiza en el capítulo 3. Modelo de optimización.

Referencia	Nombre del artículo	Sector al que va dirigido	¿Qué se optimizó?	Método usado para obtener el modelo	Porque del modelo
(Barcos, 2002)	Algoritmo basado en la optimización mediante colonias de hormigas para la resolución del problema del transporte de carga desde varios orígenes a varios destinos	Transporte	Optimizar transporte de carga desde varios orígenes a varios destinos	Colonias de hormigas	Este tipo de problemas se podría resolver por programación entera pero esto resulta inviable ya que al aplicarse en un ejemplo real con una gran cantidad de datos el método elegido es más apropiado.
(Araujo, 2009)	Asignación de máquinas a órdenes de producción mediante programación lineal entera: caso: empresa textil	Textil	Asignación de maquinaria / Cadenas de producción	Programación Lineal Entera	Para poder indicar que el margen de ganancia de la empresa sea el máximo
(Segovia & Puente, 2009)	Desarrollo de un modelo de optimización de los procesos productivos de un laboratorio farmacéutico aplicando programación lineal entera mixta con múltiples objetivos	Farmacéutico	Al sistema productivo con la finalidad de mejorar la toma de decisiones al planificar la producción	Modelo de programación lineal entera mixta con múltiples objetivos	Se optimiza la utilidad disminuyendo el exceso de existencias con la finalidad de asignar de mejor manera el presupuesto para la adquisición de materia prima.
(Tsai, 2018)	Green production planning and control for the textile industry by using mathematical programming and industry 4.0 techniques	Textil	Producción de 3 productos y 3 subproductos / Reciclaje de agua y energía térmica	Programación lineal entera (PLE) + Técnicas de Industria 4.0	Permite el análisis de sensibilidad para medir el costo de los materiales en el función de precio de descuento para aumentar nuestra comprensión del precio del material en términos de cómo afectan a un costes e ingresos de la empresa
(Ahlaqqach, 2017)	Modeling and solving the multi-objective heterogeneous vehicles routing problem in the case of healthcare textile	Textil sanitario	Minimizar el coste total y el valor de riesgo total de las rutas	Modelo multiobjetivo	La resolución del modelo en varias instancias reveló su robustez y mostró cómo puede contribuir a buscar el equilibrio entre los principales objetivos relacionados con el suministro de Textil Sanitario
(Ferrer, 2019)	Modelo de optimización colaborativo para la minimización de los costos variables de transporte de carga por carretera en Colombia	Transporte	Minimizar costos de transporte	Programación lineal, método de costo mínimo	Con la finalidad de desarrollar un modelo que les permitiera mejorar la distribución del producto a través de la minimización de costos del transporte. Se resuelven situaciones reales en las que se pretende identificar y resolver dificultades.
(De la Hoz & López, 2017)	Modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística inversa en el sector plástico de polipropileno	Plásticos	Logística inversa	Programación lineal multiobjetivo para la logística inversa	Incorpora las variables y parámetros identificados en el diseño del proceso de logística inversa. Los problemas multiobjetivo no tienen una solución única óptima sino un conjunto de soluciones eficientes.
(Ríos & Sánchez, 2004)	Modelo matemático para la planificación de la producción en la cadena de suministro	Productos De Jabonería	La producción en la cadena de suministro	Modelo matemático multiobjetivo / Programación por metas	Por el contexto decisional en el cual se considera una serie de metas relevantes expresadas por el decisor, las ventas sí se han afectado por problemas en la producción.



(Ortiz, 2017)	Modelo matemático para la planificación de la producción del sector cuero en la parroquia de Quisapincha	Textil	Cadena de producción y suministros	Programación Lineal Entera Multiobjetivo	Permite optimizar las operaciones tanto de distribución como de producción asignando prioridades a las funciones objetivo.
(Correa et al., 2014)	Modelo para la simulación de un ruteo logístico interno para una empresa que importa fibra textil desde china	Textil	Optimización de las variables, los costos y los tiempos de recorridos entre cada uno de los nodos.	Programación lineal.	La programación lineal es utilizada para la planeación óptima y para la toma de decisiones. Se emplea para problemas de planeación de la producción, la utilización en el uso de los recursos humanos y materiales de la organización, en la optimización de los recursos financieros con el objetivo de maximizar las ganancias y minimizar los costos dentro del desarrollo estructural del negocio.
(Campo, 2020)	Optimización de costos de producción agregada en empresas del sector textil	Textil	Se optimizaron costos de mano de obra, costos gestión de inventarios y de subcontratación de producción	programación lineal	Con los modelos de programación lineal, se logra representar las condiciones reales y particulares de un proceso productivo, modificando fácilmente los parámetros por parte de quienes administran la producción y toman decisiones estratégicas en la gestión de operaciones.
(Trifan, 2015)	Optimization model for an assortment structure of textile confections	Textil	Se optimiza una estructura de surtido(producción) de confecciones textiles	Programación matemática determinista con múltiples funciones objetivas.	Posibilidad de ofrecer un análisis operativo de la eficiencia de la actividad realizada
(Zhou,2017)	Study on optimizing production scheduling for water-saving in textile dyeing industry	Textil	Se optimizó la cantidad de agua usada para el teñido textil de prendas / Optimización de producción de teñidos	Algoritmo genético dinámico	Tenía como objetivo reducir el consumo de agua dulce mediante la optimización de la programación basada en el color y la profundidad del teñido.
(Badea et al., 2016)	Time optimization of the textile manufacturing process using the stochastic processes	Textil	Se optimizó los tiempos de producción de 4 tipos de productos textiles	Procesos estocásticos / Cadenas de Markow	Una cadena de Markow permite analizar procesos en que la sucesión de variables aleatorias evolucionan en función de otra variable, este modelo es necesario porque nos ayudará a monitorear y controlar los productos y los equipos durante todo el proceso para reducir los tiempos de producción.

Tabla 4. Trabajos relacionados con la optimización. Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 3

3. Modelo de optimización

3.1. Antecedentes y alcance

El trabajo de titulación que se propone a continuación es parte del proyecto “Incorporating Sustainability concepts to management models of textile Micro, Small and Medium Enterprises (SUMA)”, ganador de la convocatoria South Initiatives and Joint Projects 2020, organizada por VLIRUOS (Bélgica). El proyecto SUMA desarrolla e implementa un modelo de negocios que simula los costos e impactos de combinar los aspectos sociales y ambientales en un negocio. Así mismo, permite visualizar un cambio de paradigma que transforma, usa, separa y vuelve a transformar los recursos de una manera más eficiente y sustentable posible.

El enfoque de este trabajo de titulación es de tipo cuantitativo debido a que, la comparación entre los resultados del algoritmo de optimización está basada en las funciones objetivo, los valores y los tiempos de confección dados por el caso de estudio.

El alcance de la investigación es tipo correlacional debido a que se cuenta con una variable dependiente. Siendo esta variable dependiente de la función objetivo, esto se debe ya que esta variable cambiará su valor en base a las variables independientes.

Como producto de la creación de un modelo de optimización para este trabajo de titulación y basado en la revisión sistemática presentado en el capítulo 2, se genera un artículo científico titulado “Internal logistics optimization based on a multi-objective linear model for micro, small, and medium textile enterprises” (anexo 2), el cual fue aceptado y presentado en la conferencia ICAT 2021. (Torres et al., 2021).

3.2. Materiales y métodos

Este proyecto de optimización hace uso del solucionador Gurobi Optimizer en la versión 9.1.1 la cual es la versión más actual al año 2021; se hace uso de este software porque tiene una alta capacidad para procesar problemas con un número significativo de variables y restricciones. (Espinoza, 2018).

Además, el modelo de optimización resultante es resuelto bajo una computadora con un procesador Intel (R) Core (TM) i7-5500U CPU @ 2.4 GHz, 12 GB de RAM, disco duro mecánico de 930 GB y sistema operativo Windows 10 Home. El resultado del modelo de optimización fue sometido a procesos de verificación y validación; el conjunto de datos o datasets empleados para la verificación y validación son las características específicas de los productos textiles como son el tipo de tela principal y secundaria, el metraje de cada tela empleada en la prenda, costo de fabricación, valor de venta, tiempo de confección, además de valores históricos referentes a ventas del año 2019, todos los datos presentados

son proporcionados por el caso de estudio o empresa textil a través de su departamento financiero.

3.3. Construcción del modelo de optimización

Al observar la literatura sobre modelos optimizados en la industria textil, se puede ver que la programación lineal se utilizó para optimizar los procesos de confección en cuanto a cortes de tela, la gestión de inventarios, la productividad y las cadenas de suministro, así como las ganancias y los costos laborales. Además, la representación de las condiciones reales específicas del proceso de producción permitió mostrar varias opciones de decisiones estratégicas en la gestión operativa como lo es la producción por lotes o en base a demanda de productos (Caguana, 2018; Alcazar, 2019; Guerra et al., 2017). Por el contrario, los modelos de programación de enteros mixtos no lineales se han utilizado para optimizar las redes de producción, además la planificación multiobjetivo se puede utilizar para resolver el modelo en algunos casos, demostrar su solidez y ayudar a encontrar un equilibrio entre los objetivos asociados. (Zhang, 2015).

A partir de los modelos de optimización revisados, se ha decidido implementar un modelo de optimización lineal multiobjetivo o multicriterio, cuyo propósito principal es brindar una solución que satisface múltiples objetivos, donde el primer objetivo será obtener el máximo beneficio o ganancia neta y la segunda función se basa en aprovechar al máximo el tiempo disponible para la producción textil. El modelo de optimización multiobjetivo hará uso de funciones objetivo, restricciones y variables compuestas por los precios de venta, tiempos de confección, costo de producción y la disponibilidad de tela para la confección de los productos (Cortes M, 2005). Para resolver este modelo de optimización multiobjetivo, según Espinoza (2018), se puede tener en cuenta dos enfoques para especificar las funciones múltiples. El primer enfoque combina las funciones objetivo presente, como se ve en la Figura 4, donde el usuario define los pesos para cada función objetivo, estos pesos se utilizan luego para combinar los objetivos en una única función de objetivo.

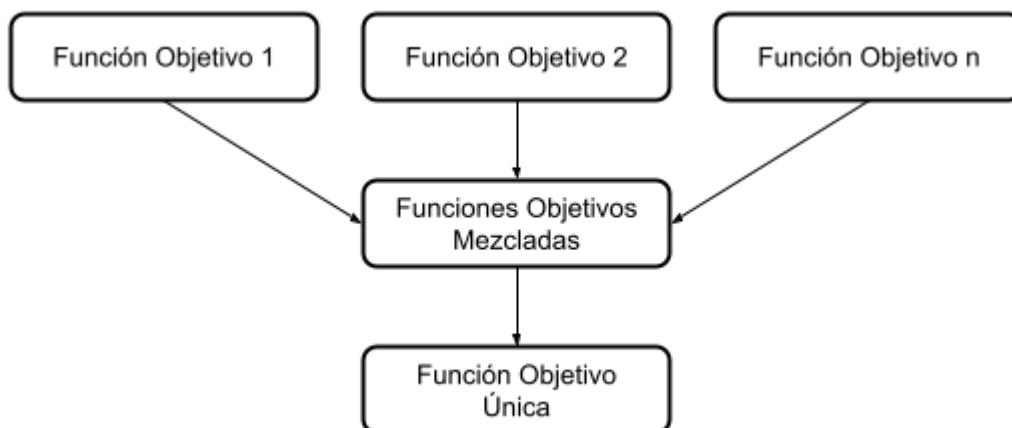


Figura 4. Enfoque de optimización multiobjetivo mezcla. Fuente: Elaboración Propia

El segundo enfoque es jerárquico, como se ve en la Figura 5. A cada función objetivo se le asigna una prioridad y se optimiza en orden descendente de esta prioridad. De esta manera el enfoque jerárquico no permitirá que los objetivos posteriores degraden los objetivos anteriores.

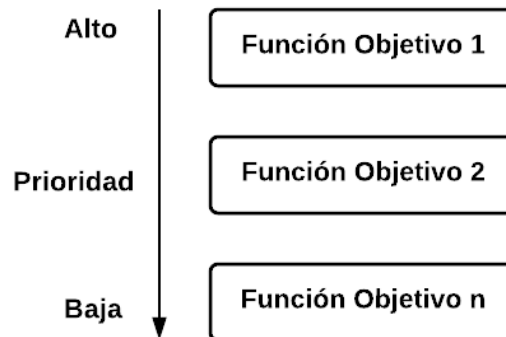


Figura 5. Enfoque de optimización multiobjetivo jerárquico. Fuente: Elaboración Propia

Para este proyecto se hace uso de un enfoque mixto o mezcla con ponderaciones para crear una única función objetivo la cual contenga a la función objetivo del beneficio neto y a la función objetivo del tiempo de producción. De esta manera, el usuario final puede definir los pesos de cada función objetivo, dando mayor prioridad a un mayor beneficio o maximizando el número de prendas a confeccionar en el tiempo de producción disponible según se desee. Cabe mencionar que las variables involucradas en el modelo de optimización son del tipo continuas, por lo que se puede realizar un análisis de sensibilidad del lado derecho de las restricciones para identificar el rango de variación permisible en el que los parámetros pueden fluctuar sin cambiar la solución óptima.

3.4. Supuestos del modelo de optimización

En el siguiente apartado se detallan los supuestos para la creación del modelo de optimización lineal multiobjetivo a desarrollar, dichos supuestos son generados en base a la información que las empresas textiles pueden entregar de forma sencilla.

- Una prenda puede hacer uso de un máximo de 2 tipos de telas diferentes, siendo estas las más relevantes para su confección o de mayor uso dentro de la prenda textil.
- Solo se tomará en cuenta la materia prima de telas y no se hará uso de otros artículos como botones, cierres, etc.



- Se dispone de un tiempo de confección o producción de 160 horas laborales disponibles por persona, equivalente a trabajar de lunes a viernes 8 horas diarias durante 4 semanas.
- Los trabajadores encargados del área de confección reciben un sueldo fijo y no basado en horas de trabajo empleadas.

3.5. Algoritmos y procesos

Antes de definir las variables, restricciones y funciones objetivo para el modelo de optimización, así como los datos que ingresan en el mismo y los resultados obtenidos de solucionar el modelo, se realizaron 3 procesos. El primer proceso enfocado a los datos entregados por el caso de estudio respecto a las telas y su disponibilidad, el segundo proceso se basa en la definición de las variables, restricciones y funciones objetivo del modelo y su solución mediante el solver Gurobi Optimizer y el tercer proceso se basa en obtener las características de análisis de sensibilidad del modelo de optimización. Estos procesos son automatizados mediante la creación de código fuente en un lenguaje de programación Python junto con la ayuda de librerías especializadas para el manejo de datos y el uso de Gurobi Optimizer.

3.5.1. Proceso para verificar las características de telas en stock.

En este proceso se verifica que todas las telas necesarias para la confección de la prenda textil existan dentro del inventario de la empresa, de esta manera se busca que se haga uso de todos los tipos de tela disponible en inventario para la construcción del modelo de optimización, de esta manera se busca que el modelo no genere conflictos o errores en el resultado final. A continuación, se indica el algoritmo usado para la verificación de los datos respecto a las telas empleados para la confección.

- 1 Crear una lista vacía para los valores de telas no existentes k.
- 2 Obtener todas las telas disponibles en inventario.
- 3 Obtener las telas principales empleadas para confección.
- 4 Obtener las telas secundarias empleadas para confección.
- 5 Juntar las telas principales y secundarias en una sola lista Q.
- 6 Recorrer la lista Q.
 - 6.1 Se obtiene la tela empleada de la lista Q.
 - 6.2 Si la tela empleada no está en la tela principal entonces agregar la tela a lista k.
- 7 Se recorre la lista de valores no existentes k.



7.1 Se obtiene la tela i del valor no existente k .

7.2 Se busca ese valor i en la tabla de productos en tela principal y secundaria, si existe se elimina el registro.

3.5.2. Procesos de definición de índices, parámetros, variables y funciones objetivo

El segundo proceso se basa en la creación de las características del modelo de optimización, se indica el número de variables de decisión, el número de restricciones y las funciones objetivo a optimizar; una vez definido el modelo de optimización se busca la solución óptima mediante la aplicación del solver Gurobi Optimizer. A continuación, se indica los pasos a seguir para este segundo proceso.

1 Indicar las variables de decisión, las cuales serán los nombres de todos los productos textiles presentes en el conjunto de datos.

1.1 Se extrae todos los nombres de los productos textiles y se los agrega a una lista.

1.2 Se recorre la lista de productos, a cada producto se le agrega como variable de decisión al modelo, se le define a cada una como variable del tipo continua.

2 Indicar los parámetros del modelo de optimización, horas de confección disponible por empleado y número de trabajadores.

3 Se crea las restricciones para el modelo de optimización.

3.1 Se indica la restricción de las horas de trabajo disponible según la cantidad de trabajadores.

3.2 Se crean las restricciones en base al tipo de tela disponible para la confección, se crea una restricción de tela por cada tipo existente en el dataset entregado por el caso de estudio o empresa textil.

3.3 Se indica la restricción respecto al valor histórico de venta de la empresa textil según el escenario que se maneje.

3.4 Se crea la restricción de no negatividad para cada variable de decisión.

4 Se indica las funciones objetivo.

4.1 Se define el peso para cada función objetivo, a mayor peso mayor prioridad.

4.2 Se crea la función objetivo 1 encargada de maximizar el beneficio o ganancia neta.

4.3 Se crea la función objetivo 2 encargada de aprovechar el tiempo de confección al máximo.

4.4 Se mezclan las funciones objetivo en una sola función a maximizar.

5 Se aplica el solver Gurobi Optimizar al modelo de optimización propuesto para encontrar la solución más óptima.

6 Se indica el valor de las variables mayores a cero, se muestra el nombre de la variable, el precio de venta, además de beneficio y venta total.

3.5.2.1. Definición de índices, parámetros y variables

En la Tabla 5 se indican los índices, parámetros y variables consideradas para la formulación matemática del modelo de optimización lineal multiobjetivo con enfoque mezcla con pesos.

Variables, índices, parámetros		Definición
Índices	j	Número de producto a confeccionar. $\forall j \in N$ $j \geq 0$
	i	Pertenece al tipo de tela disponible para la elaboración de los productos. $\forall i \in I$ $i \geq 0$
Variables	X_j	Cantidad de productos textiles j a fabricar.
Parámetros	IVA	Porcentaje del valor de IVA (Impuesto Valor Agregado)
	Precioj	Precio de venta del producto j
	Costoj	Costo de fabricar el producto j
	tiempo_productoj	Tiempo de confección del producto j
	maquina_montaje	Tiempo de montaje o preparación de las máquinas de confección para un lote de productos.
	horas_hombre	Número de horas trabajadas al mes (8horas*5dias*4sem= 160)

	num_trabajadores	Número de trabajadores totales de la MIPYMES
	num_metrosj	Número de metros necesarios para confeccionar el producto j
	Cantidad_existentei	Número de metros de tela i disponible.
	Valor_mensual	Valor de venta mensual de la empresa textil.

Tabla 5. Definición de índices, parámetros, y variables del modelo de optimización. Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.2. Definición de funciones objetivo

Para este trabajo se asignaron las prioridades de las funciones objetivo de acuerdo con la importancia que indica la empresa textil. Por tanto, las funciones objetivo en orden de prioridad son:

Maximizando el beneficio neto en un mes.

$$\left(\sum_j (\text{precio}_j - (\text{precio}_j * \text{IVA}) - \text{costo}_j) * X_j \right) \quad j \in \text{productos}$$

El impuesto al valor agregado (IVA) se resta del precio del producto para crear esta función objetivo. El costo de producción incluye valores de fabricación como el costo de las materias primas, los servicios básicos y el pago a los empleados. De esta forma, de la resta del IVA y el costo se logra encontrar el beneficio neto de un producto.

Maximizando los productos a fabricar en el tiempo de trabajo mensual disponible

$$\left(\sum_j \text{tiempo_producto}_j * X_j \right) \quad j \in \text{productos}$$

Esta función objetivo busca aprovechar al máximo el tiempo disponible del personal encargado del área de confección. Esto se debe a que a los trabajadores se les paga por un tiempo fijo y no por las horas trabajadas o las prendas confeccionadas, según los casos de estudio o empresas textiles.

3.5.2.3. Definición de restricciones

Se manejan un total de cuatro condiciones o restricciones a las que está sujeto el modelo de optimización. Estos se detallan a continuación:

- Se creó una restricción basada en los datos históricos de la empresa textil. Por lo tanto, se pretendía que el modelo de optimización fuera fiel a la realidad del caso de estudio de esta manera se busca validar el modelo de optimización resultante.

$$\left(\sum_j \text{precio}_j * X_j \right) \leq \text{valor_mensual} \quad j \in \text{productos}$$

- Horas de confección disponible según el número de trabajadores dentro del área de confección.

$$\text{maquina_montaje} + \sum_{j \in \text{Productos}} (\text{tiempo_producto}_j * X_j) \leq \text{horas_hombre} * \text{num_trabajadores}$$

- Cantidad de tela disponible para la confección.

$$\left(\sum_i \sum_j (\text{num_metros}_{ij} * X_j) \right) \leq \text{cantidad_existente}_j \quad \begin{array}{l} j \in \text{productos} \\ i \in \text{tela} \end{array}$$

- No negatividad

$$X_j \geq 0 \quad j \in \text{productos}$$

3.5.3. Proceso para el análisis de sensibilidad

El tercer y último proceso se basa en obtener los datos pertenecientes a las distintas características que se puede encontrar al aplicar un análisis de sensibilidad al resultado del modelo de optimización obtenido en el anterior proceso.

- 1 Del modelo de optimización se obtienen todas las variables y sus valores.
- 2 Se obtienen los valores para el análisis de sensibilidad de la función objetivo.
 - 2.1 Se recorre todas las variables y se extrae de cada una el nombre de la variable, el valor del coeficiente, y los valores superiores e inferiores de cada una.
- 3 Se obtienen los costos reducidos de las variables.
 - 3.1 se recorren todas las variables y se muestra el nombre de la variable junto con el valor de su costo reducido.
- 4 Se obtiene los valores de holgura.
 - 4.1 Se recorre cada restricción y se obtienen el nombre de la restricción junto con su valor de holgura.

5 Se obtiene los precios duales.

5.1 Se recorre cada restricción y se obtienen el nombre de la restricción junto con su valor del precio dual.

6 Se halla el valor de sensibilidad del lado derecho.

6.1 se recorre cada restricción, se obtiene el nombre de cada una junto con su valor de lado derecho, además de sus intervalos tanto superiores como inferiores para cada una.

3.6. Construcción de herramienta de toma de decisiones

Para este trabajo de titulación se presenta una herramienta que permita a la empresa textil obtener los resultados de un plan de producción en base a los datos que se ingresen. Debido a la necesidad de crear aplicaciones funcionales en un plazo de tiempo corto, se hace uso de la metodología RAD (Rapid Application Development) el cual es un ciclo de desarrollo diseñado para crear aplicaciones de computadoras de alta calidad. El método comprende el desarrollo interactivo, la construcción de prototipos y el uso de utilidades CASE (Computer Aided Software Engineering). (Cortes M, 2005).

En la Figura 6 podemos observar el ciclo de vida de la metodología RAD.

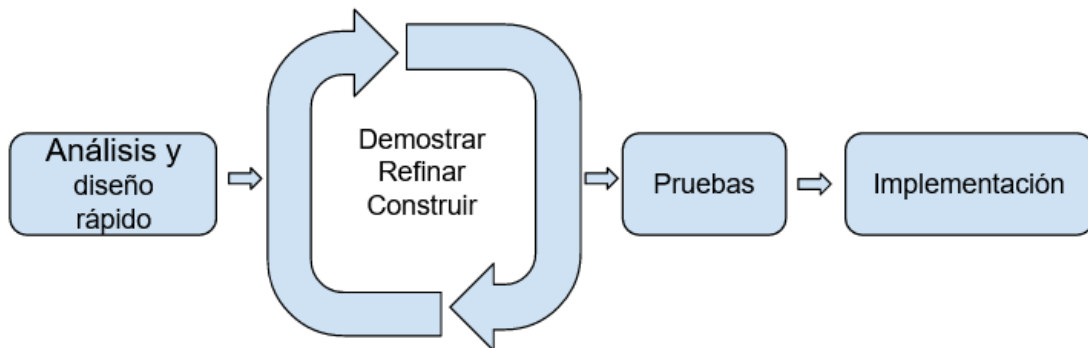


Figura 6. Modelo del ciclo de vida RAD. Fuente: (Maida,2015)

- **Análisis y diseño rápido.** Creación del prototipo, selección de lenguaje o framework, destino final de la aplicación.
- **Prototipo Cíclico.** Interfieren las fases del desarrollo de la aplicación, de mostrar o indicar cómo evoluciona la aplicación junto al usuario, refinar hace referencia a indicar los cambios a realizar , finalmente en construir se implementa los cambios solicitados o previstos
- **Pruebas.** Se realizan las pruebas de entrega final. Al realizar un desarrollo junto al usuario se reduce el tiempo de prueba. Sin embargo, se deben probar todos los componentes nuevos y se deben ejercitar todas las interfaces a fondo.
- **Implementación.** Enviar el software a producción.

Capítulo 4

4. Resultados y discusión del proyecto

4.1. Casos de estudio

Para este proyecto se tiene dos casos de estudio las cuales son empresas textiles, pertenecientes a las MIPYMES, estas empresas nos proporcionaron información referente a sus ventas dentro del año 2019, los datos a los que se tuvo acceso para probar el modelo de optimización y la visualización de los resultados fueron valores reales dados por las propias empresas textiles, en la Figura 7 se muestra una comparativa en cuanto al valor de ventas dentro del año 2019 de manera mensual; cabe destacar que los valores que se presentan a continuación son los valores reales de las empresas multiplicado todos ellos por un número n para la protección de los datos y la confidencialidad de los casos de estudio.

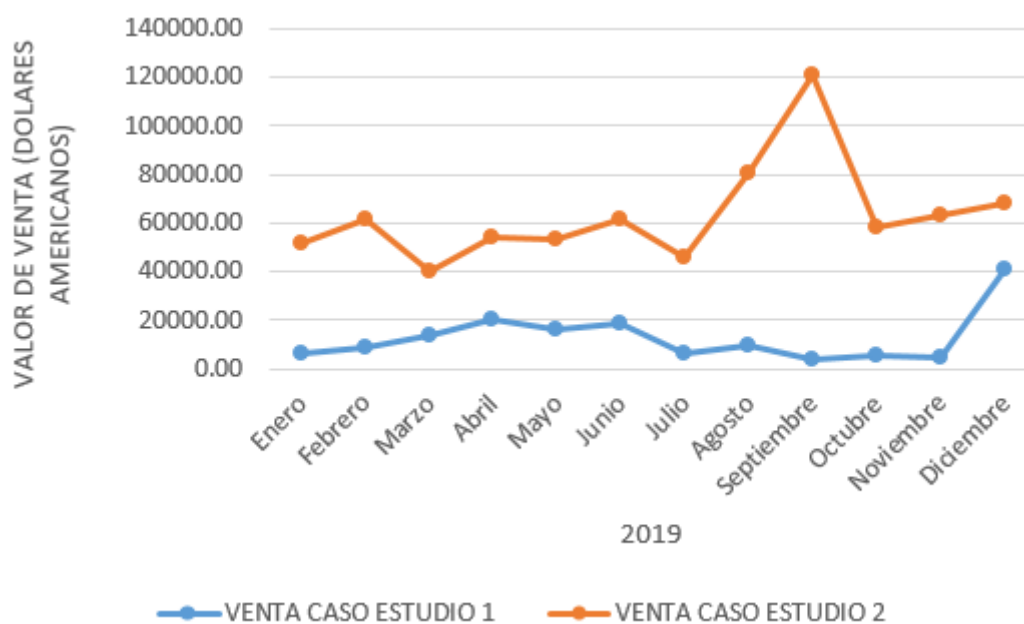


Figura 7 Valor de ventas para los casos de estudio. Fuente Caso de Estudio 1 y 2.

Se puede observar que el caso de estudio 1 es una empresa pequeña en comparación al caso de estudio 2, ya que el caso de estudio 2 tiene ventas mayores en todos los meses dentro del año 2019. Cabe destacar que ambas empresas están enfocadas al área textil, pero en diferentes ramas, una empresa dedicada más a la confección de lencería para el hogar y la otra a la creación de pijamas, lo que da paso a que una empresa obtenga mayor valor en ventas en comparación a la otra. Con esto se da a entender que el modelo de optimización lineal multiobjetivo que se presenta puede ser usado sin importar el tamaño de

la empresa; los datos enviados considera directamente la venta al consumidor final y no a mayoristas, de esta manera se busca generalizar los resultados.

Por acuerdos de confidencialidad, no se menciona el nombre de la empresa ni se revelan los datos sobre sus productos y/o inventarios.

4.2. Caso de estudio 1

El modelo de optimización lineal multiobjetivo creado para el conjunto de datos propuesto por la empresa textil posee un total de 81 productos o variables, cabe destacar que los productos que confecciona la empresa textil serán considerados como las variables de decisión para el modelo de optimización lineal multiobjetivo, además el modelo cuenta con 14 restricciones y dos funciones objetivo.

La empresa textil fue la encargada de proporcionar datos sobre los productos en los que más estaban interesados, además los registros y sus valores se obtuvieron de su departamento de contabilidad, dando como resultado datos verificados por el propio caso de estudio.

La validación de los resultados entregados por el modelo de optimización se basó en la referencia de sus valores históricos sobre las ventas realizadas en un mes determinado perteneciente al año 2019.

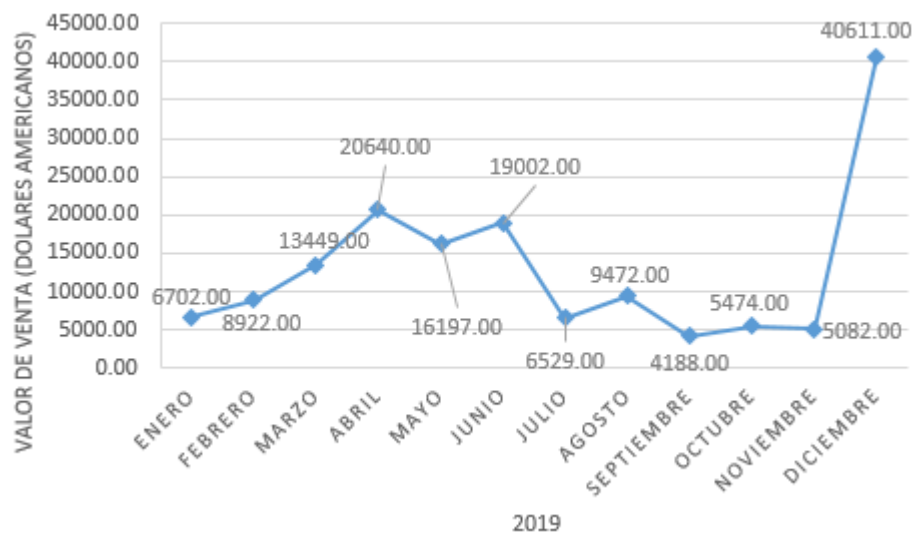


Figura 8. Valor de ventas para el año 2019. Fuente Caso de Estudio 1.

Como se visualiza en la Figura 8, las ventas históricas registradas para el año 2019 indican que el valor máximo es de \$40611 correspondiente al mes de diciembre, este valor y mes se considerará como el escenario óptimo pues es el más alto. En el mes de septiembre, la empresa textil registra ventas de \$4188, siendo este valor el más bajo dentro del conjunto de datos de ventas, por lo que este mes se considera un escenario pésimo. Finalmente, se considera que el valor de \$ 9472 para el mes de agosto se considera normal ya que el valor de agosto es el más cercano al promedio realizado para los meses restantes sin

considerar diciembre y septiembre. Cabe destacar que las variaciones en la Figura 8, son valores típicos en cuanto a ventas de la empresa textil esto según el propio departamento financiero de la empresa.

De acuerdo con la Tabla 6, entre el peor escenario y el escenario normal, la diferencia entre los valores históricos y los obtenidos aplicando el modelo de optimización arroja una diferencia menor de \$12. Esta diferencia da como resultado que el modelo se adhiera a la realidad de la empresa textil en el caso de estudio.

Escenario	Mes	Venta(Histórico)	Modelo de optimización (venta)	Diferencia
Óptimo	Diciembre	\$40611	\$ 12099.92	\$28511.08
Pésimo	Septiembre	\$4188	\$ 4184.46	\$3.54
Normal	Agosto	\$9472	\$ 9460.50	\$11.50

Tabla 6. Comparación del valor de beneficio neto entre los valores históricos y el modelo de optimización lineal.
Fuente Elaboración Propia

Con base en los resultados obtenidos con el modelo de optimización, se encontró que el programa de producción obtenido para un escenario óptimo resulta en un valor de \$12,099.92. Suponiendo que la empresa textil vende todos los productos en diciembre, los costos laborales y administrativos y los servicios básicos se eliminan de la venta total. Esto da como resultado una utilidad neta de \$1355.98, siendo el producto 34 y el producto 79 los productos indicados para el plan de producción para el mes especificado.

Producto	Cantidad	Precio Individual	Venta Total	Beneficio Neto
Producto 34	217	\$ 17.68	\$ 3836.56	\$ 429.31
Producto 79	476	\$ 17.36	\$ 8263.36	\$ 926.67

Tabla 7. Resultados del modelo de optimización en un escenario óptimo para diciembre. Fuente Elaboración Propia.

Los resultados presentes en la Tabla 7 indican que se obtiene una mayor ganancia vendiendo una mayor cantidad del producto 79 a un precio menor; se recomienda una mayor cantidad de producto 79 ya que el tiempo de fabricación de 34.50 minutos es menor comparado con el producto 34 con un tiempo de 43.48 minutos, esto da paso a aprovechar mejor el tiempo de fabricación disponible para crear la mayor cantidad de productos, y siendo vinculados bajo el supuesto de que todos los artículos producidos se comercializan en un mes, se cumple la función objetivo de incrementar sus ganancias netas y aprovechar el tiempo de producción disponible.

Para el escenario normal (ver Tabla 8), el resultado indica que se obtuvo una venta total de \$9460.50, asumiendo que la empresa textil vende todos los productos dentro de agosto. Del valor total de venta, los pagos por mano de obra, costos administrativos y servicios básicos deben cancelarse, lo que da como resultado un valor de \$1057.68 como utilidad neta.

Producto	Cantidad	Precio Individual	Venta Total	Beneficio Neto
Producto 66	386	\$ 11.16	\$ 4307.76	\$ 482.80
Producto 80	314	\$ 16.41	\$ 5152.74	\$ 574.87

Tabla 8. Resultados del modelo de optimización en un escenario normal para agosto. Fuente Elaboración Propia.

El pésimo escenario de la Tabla 9 arrojó una ganancia neta de \$467,92, suponiendo que se venden todos los productos en un mes. Este escenario resultó en un solo producto dentro del plan de producción.

Producto	Cantidad	Precio Individual	Venta Total	Beneficio Neto
Producto 53	574	\$ 7.29	\$ 4184.46	\$ 467.92

Tabla 9. Resultados del modelo de optimización en un escenario pésimo para septiembre. Fuente Elaboración Propia.

En el escenario pésimo, el plan de producción resultante sugiere que solo se debe poner a la venta un producto, el producto 53, la cantidad a fabricar de acuerdo con los resultados es de 574 unidades a un precio individual de \$ 7.29 dando una venta por mes de \$ 4184.46 y una ganancia neta de \$ 467.92. El resultado de un solo producto responde a que el plan de producción sugiere fabricar el producto con los costos más bajos.

4.2.1. Análisis de Sensibilidad Caso de Estudio 1

Campo (2020), en su investigación sobre la optimización de costos de producción agregada en empresas del sector textil recomienda examinar las restricciones sobre la cantidad de tipo de tela disponible y el tiempo de fabricación para complementar el análisis de la solución óptima para cada uno de los escenarios propuestos. Además, también se identificaron precios sombra también llamados precios duales, los cuales corresponden al valor de las tasas marginales de variación del valor de la función objetivo, siendo este caso la mezcla antes de las variaciones unitarias del lado derecho de las restricciones y en qué se pueden modificar estos parámetros; de esta forma, la solución encontrada sigue siendo óptima según lo expone Diwekar (2020).

A partir de los resultados obtenidos en el análisis de sensibilidad para el escenario óptimo mostrado en la siguiente tabla, se observa que la tela tipo 1 y la tela tipo 3 utilizadas para implementar el plan de producción sugerido por el modelo de optimización tuvieron un excedente de 4721.00, 619.00 y 0.00 metros



de tipo de tela respectivamente. De las dos restricciones, se puede mencionar que para la tela tipo 1, su uso se puede reducir hasta en 146 metros. Para el tipo de tela 3, debe haber un uso máximo de 1585.45 metros. Se puede hacer uso de la tela de tipo 3 hasta un total de 1585.45 metros y seguir obteniendo un valor óptimo en las funciones objetivo del modelo de optimización, es decir el beneficio o ganancia neta aún se mantendría; los demás valores de rango superior a excepción de la tela tipo 1 y 2 son infinitos, indicando que se puede usar toda la cantidad necesaria, sin embargo su valor de holgura es el mismo que el valor del lado derecho indicando que no se hace uso de la restricción o ese tipo de tela no es tomado en cuenta para el plan de producción.

Restricción	Valor del lado derecho	Rango superior	Rango inferior	Holgura	Dual
Tipo de tela 1	4867.62 metros	Infinito	146.00	4721.61	0.00
Tipo de tela 2	1461.63 metros	Infinito	0.00	1461.63	0.00
Tipo de tela 3	1101.00 metros	1585.45	0.00	0.00	0,69
Tipo de tela 4	246.15 metros	Infinito	0.00	246.15	0.00
Tipo de tela 5	142.10 metros	Infinito	0.00	142.10	0.00
Tipo de tela 6	255.52 metros	Infinito	0.00	255.52	0.00
Tipo de tela 7	1253.55 metros	Infinito	0.00	1253.55	0.00
Tipo de tela 8	116.76 metros	Infinito	0.00	116.76	0.00
Tipo de tela 9	207.24 metros	Infinito	0.00	207.24	0.00
Tipo de tela 10	290.00 metros	Infinito	0.00	290.00	0.00
Tipo de tela 11	89.27 metros	Infinito	0.00	89.27	0.00
Tipo de tela 12	104.50 metros	Infinito	0.00	104.50	0.00

Tabla 10. Análisis de sensibilidad para el tipo de tela disponible en un escenario óptimo. Fuente Elaboración Propia.

La tela tipo 3 se consume por completo, es decir, se fabricaron todos los productos que se pudieron fabricar con la tela tipo 3, lo que lleva a que este tipo

de tela tenga un mayor impacto dentro del escenario óptimo; se deben agregar 0.69 metros de tela extra para incrementar la fabricación de un solo producto con este tipo de material.

De los resultados obtenidos para el escenario normal (Tabla 12) y pesimista (Tabla 11), se observó que ambos casos utilizaron el mismo tipo de tela, siendo la tela tipo 1 y la tela tipo 3, en igual medida. Esto difiere del escenario óptimo donde se utilizó el mismo tipo de tela pero en diferentes valores. Esto indica que todavía se utilizó el mismo tipo de tela. Sin embargo, los productos resultantes fueron diferentes, como se ve en la Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9.

Restricción	Valor del lado derecho	Rango superior	Rango inferior	Holgura	Dual
Tipo de tela 1	4867.62 metros	Infinito	162.34	4705.27	0.00
Tipo de tela 2	1461.63 metros	Infinito	0.00	1461.63	0.00
Tipo de tela 3	1101.00 metros	Infinito	726.11	374.88	0.00
Tipo de tela 4	246.15 metros	Infinito	0.00	246.15	0.00
Tipo de tela 5	142.10 metros	Infinito	0.00	142.10	0.00
Tipo de tela 6	255.52 metros	Infinito	0.00	255.52	0.00
Tipo de tela 7	1253.55 metros	Infinito	0.00	1253.55	0.00
Tipo de tela 8	116.76 metros	Infinito	0.00	116.76	0.00
Tipo de tela 9	207.24 metros	Infinito	0.00	207.24	0.00
Tipo de tela 10	290.00 metros	Infinito	0.00	290.00	0.00
Tipo de tela 11	89.27 metros	Infinito	0.00	89.27	0.00
Tipo de tela 12	104.50 metros	Infinito	0.00	104.50	0.00

Tabla 11. Análisis de sensibilidad para el tipo de tela disponible en un escenario pesimista. Fuente: Elaboración Propia

Restricción	Valor del lado derecho	Rango superior	Rango inferior	Holgura	Dual
-------------	------------------------	----------------	----------------	---------	------



Tipo de tela 1	4867.62 metros	Infinito	162.34	4705.27	0.00
Tipo de tela 2	1461.63 metros	Infinito	0.00	1461.63	0.00
Tipo de tela 3	1101.00 metros	Infinito	726.11	374.88	0.00
Tipo de tela 4	246.15 metros	Infinito	0.00	246.15	0.00
Tipo de tela 5	142.10 metros	Infinito	0.00	142.10	0.00
Tipo de tela 6	255.52 metros	Infinito	0.00	255.52	0.00
Tipo de tela 7	1253.55 metros	Infinito	0.00	1253.55	0.00
Tipo de tela 8	116.76 metros	Infinito	0.00	116.76	0.00
Tipo de tela 9	207.24 metros	Infinito	0.00	207.24	0.00
Tipo de tela 10	290.00 metros	Infinito	0.00	290.00	0.00
Tipo de tela 11	89.27 metros	Infinito	0.00	89.27	0.00
Tipo de tela 12	104.50 metros	Infinito	0.00	104.50	0.00

Tabla 12. Análisis de sensibilidad para el tipo de tela disponible en un escenario normal. Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 11 y Tabla 12 indican los mismos valores, esto se debe a que la diferencia de beneficio entre ellas es inferior a \$ 12; los valores actuales indican que la tela disponible no se ha utilizado por completo, siendo solo la tela de tipo 1 y 3 la que se ha utilizado para la confección.

La Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12 indican que una gran cantidad de sus telas no han sido utilizadas, esto se debe a que el modelo no considera una cantidad mínima o máxima de productos y/o categorías a elaborar.

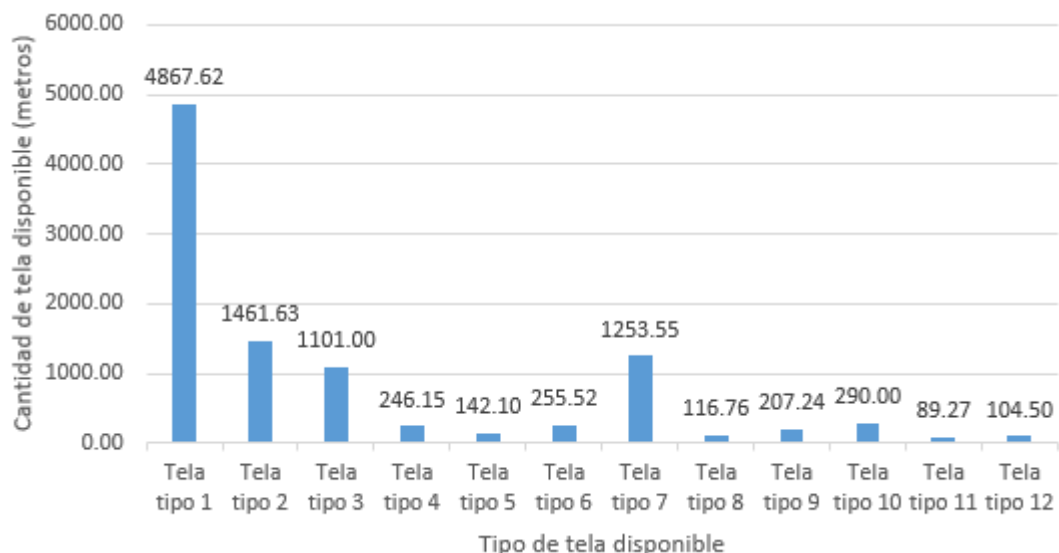


Figura 9. Cantidad de tela en metros en inventario. Fuente Empresa Textil

Dentro de los entregados por el caso de estudio se evidencia que existe un total de 12 tipos de telas, en la Figura 9 se puede observar que existe una mayor cantidad de tela del tipo 1 para la confección de los productos. Tomando esto en cuenta se observa que el plan de producción que obtenemos de aplicar el modelo de optimización en los 3 escenarios da como resultado el uso del tipo de tela 1. Es decir, el plan de producción recomienda en mayor medida consumir la materia prima de mayor existencia en inventario.

Para el análisis de la restricción de tiempo de fabricación en la Tabla 13, la restricción siempre estuvo activa independientemente del escenario propuesto. En otras palabras, el tiempo de producción disponible fue más relevante que los materiales de confección.

Etapa	Tiempo disponible (lado derecho)	Rango superior	Rango inferior	Holgura	Dual
Óptimo	67200.00 min	219013.38	46666.19	0.00	0.54
Pésimo	67200.00 min	79977.29	60603.20	0.00	0.46
Normal	67200.00 min	79977.29	60603.20	0.00	0.46

Tabla 13. Análisis de sensibilidad por tiempo disponible. Fuente: Elaboración Propia.

Por lo tanto, los 67200.00 minutos disponibles para la fabricación con un total de 7 empleados se utilizan por completo, para el escenario óptimo, se deben aumentar 0.54 minutos al tiempo de producción. Del mismo modo, para los

peores y normales escenarios, el aumento es un total de 0.46 minutos por prenda.

Con estos valores de la Tabla 13 se observa que el modelo de optimización hace uso de todo el tiempo de producción disponible para la confección de las prendas textiles. Además, los valores encontrados por el modelo de optimización en términos de beneficio máximo, se observa un incremento en sus beneficios netos, por lo que se puede decir que el modelo de optimización ha logrado encontrar un equilibrio entre los objetivos de las funciones.

4.3. Caso de estudio 2

El modelo de optimización lineal multiobjetivo para el caso de estudio 2 posee un total de 100 productos o variables, 4 restricciones siendo estas 2 correspondientes al tipo de tela disponible para la confección textil, 1 relacionada con el tiempo de producción disponible y 1 relacionada a los valores históricos en ventas correspondientes al año 2019.

Los datos del caso de estudio 2 fueron proporcionados por el departamento de finanzas de la propia empresa textil, por lo tanto los datos son verificados por la propia empresa. En la siguiente figura se indican los valores relacionados a las ventas del caso de estudio correspondientes al año 2019, cabe destacar que la empresa textil 2 entregó su información financiera en ventas con respecto a todo el Ecuador; para probar el modelo de optimización solo nos centraremos en valores de ventas correspondientes al cantón Cuenca; de igual manera los datos indicados son valores reales dado por el departamento financiero multiplicado por una constante o valor n para la protección de los mismos.

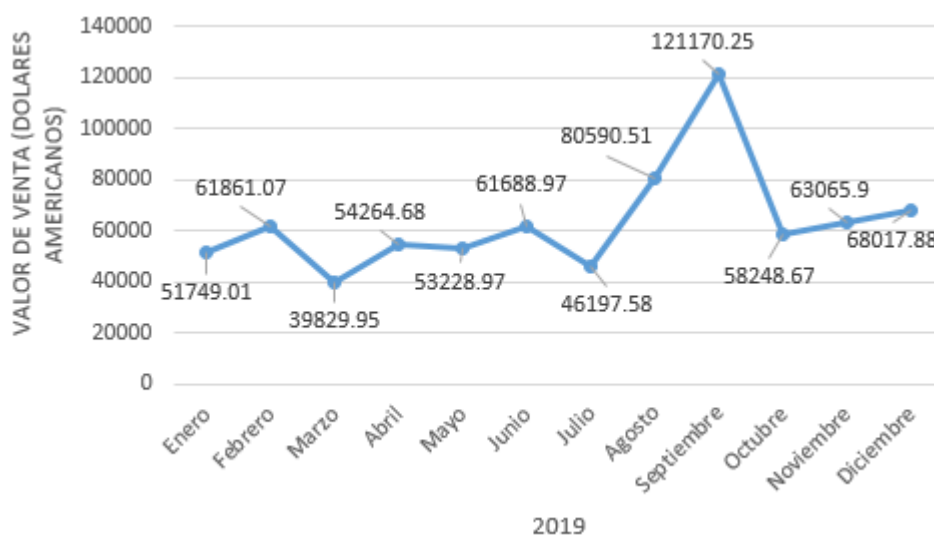


Figura 10. Valor de ventas para el año 2019. Fuente Caso de Estudio 2.

Se puede observar Figura 10, el mes con mayor valor en ventas es septiembre con un total de \$121170.25, al ser el valor más alto se le considera un escenario óptimo. El menor valor corresponde al mes de marzo con un total de \$39829.95 al cual se le considera un escenario pesimista. Al igual que el caso anterior para

encontrar un valor para el escenario normal se crea el promedio de ventas sin considerar los valores de los escenarios pésimos y óptimos teniendo así un promedio de ventas de \$ 59891.32, realizando una diferencia entre el promedio y el valor de ventas respectivamente, el valor de ventas del mes de octubre es el más cercano al promedio con una diferencia de \$1642.65. Por lo tanto el valor de octubre con \$58248.67 es considerado como un escenario normal.

En la Tabla 14 se indica los valores históricos y los resultados en cuanto a ventas obtenidos a través del modelo de optimización, se puede notar que al igual que en el primer caso de estudio en los escenarios pésimo y normal la diferencia es baja, pero en el óptimo la diferencia en resultados es demasíadamente grande al sobrepasar los \$60000.

Escenario	Mes	Venta(Histórico)	Modelo de optimización (venta)	Diferencia
Óptimo	Septiembre	\$121170.25	\$59760	\$61410.25
Pésimo	Marzo	\$39829.95	\$ 39816	\$13.95
Normal	Octubre	\$58248.67	\$ 58248	\$0.67

Tabla 14. Tabla de resultados para el caso de estudio 2. Fuente: Elaboración Propia.

El plan de producción que se obtiene al aplicar el modelo de optimización lineal multiobjetivo a los datos entregados por el caso de estudio 2, indican la confección de un solo producto por cada escenario siendo este producto el mismo para los tres escenarios, este producto tiene un precio de venta de \$72. En la Tabla 15 se indica la cantidad de cada uno de ellos en cada escenario y su aporte en beneficio neto y venta.

Escenario	Cantidad	Venta	Beneficio neto
Óptimo	830 unidades	\$59760	\$36860.30
Pésimo	553 unidades	\$ 39816	\$24558.73
Normal	809 unidades	\$ 58248	\$35927.70

Tabla 15. Cantidad de productos para cada escenario. Fuente: Elaboración Propia.

En base a los datos entregados por el caso de estudio 2, este producto ocupa un tiempo de 40.9 minutos, pero existen otros productos que hacen menor uso de tiempo de confección además que el consumo de tela es alto tanto de la tela principal como de la secundaria con respecto a los otros productos con un total de 3.27 metros para cada tipo. Se debe destacar que el precio de venta de \$72 al consumidor final es el más alto, por lo tanto el modelo de optimización lineal considera que se debe fabricar el producto que más caro se comercialice. No toma en cuenta la confección de otros productos en base a la tela disponible ya

que solo existe 2 tipos y estas son usadas en todos los productos disponibles, por ende el modelo centra en obtener el mayor beneficio el cual logra creando la mayor cantidad de productos que más caros sean vendidos, esto bajo el supuesto que todo producto creado sea comercializado.

4.3.1. Análisis de sensibilidad caso de estudio 2

En base a lo que expone tanto Campo (2020) y Diwekar (2020), se realiza el análisis de sensibilidad del lado derecho de las restricciones tanto de tela como de tiempo de producción disponible, de igual manera como se realizó en el caso de estudio 1.

El caso de estudio 2 indica que cuenta con dos tipos de tela para sus productos dentro del inventario, siendo esto la tela tipo 1 y el tipo de tela 2 el cual es usada como recubrimiento, ambas telas presentan la misma cantidad siendo esta de 4025.28 metros cada una.

En la Tabla 16 se indican los resultados del análisis de sensibilidad el lado derecho para las restricciones de tela y tiempo disponible para el escenario óptimo.

Restricción	Valor del lado derecho	Rango superior	Rango inferior	Holgura	Dual
Tipo de tela 1	4025.28 metros	Infinito	2720.39	1304.88	0.00
Tipo de tela 2	4025.28 metros	infinito	2720.39	1304.88	0.00
Tiempo disponible	67200 minutos	99433.63	0.00	0.00	1.60

Tabla 16. Análisis de sensibilidad lado derecho escenario óptimo. Fuente: Elaboración Propia.

Para el escenario optimo, tanto las restricciones de tela 1 como tela 2 son usadas en igual medida, esto se debe a que los productos hacen uso de las telas en igual cantidad pues el producto final así lo requiere. Por lo tanto se necesita un mínimo de 2720.39 metros de tela de cada una para mantener un beneficio óptimo y se puede hacer uso de cualquier metraje. Esto se debe a que a mayor tela disponible mayor será la cantidad de productos a fabricar y al ser comercializados a un valor alto su beneficio ira en ascenso. En base a los valores de holgura no se hace uso de toda la tela disponible, esto se debe a que se limita al tiempo de producción disponible donde su holgura toma el valor de 0 lo que indica que se usa todo el tiempo disponible y la empresa textil o el caso de estudio 2 no puede crear más prendas o productos. El tiempo de producción es usado en su totalidad según el plan de producción.

En la Tabla 17 se indican los valores del análisis de sensibilidad para el escenario pésimo, donde se puede observar una diferencia en cuanto al uso de tela, existe un total de 2213.57 metros de cada tipo de tela sin hacer uso, y el mínimo a usar para seguir con un valor optimo es de 1811.71 metros.

Restricción	Valor del lado derecho	Rango superior	Rango inferior	Holgura	Dual
Tipo de tela 1	4025.28 metros	Infinito	1811.71	2213.57	0.00
Tipo de tela 2	4025.28 metros	Infinito	1811.71	2213.57	0.00
Tiempo disponible	67200 minutos	Infinito	44753.37	22446.62	0.00

Tabla 17. Análisis de sensibilidad lado derecho escenario pésimo. Fuente: Elaboración Propia.

El tiempo de producción para el escenario pésimo indican que al ser restringido por la condición del valor histórico no se hace uso de todo el tiempo disponible, por ende queda disponible 22446.62 minutos de producción, el plan de producción sobrepasa el valor histórico en un escenario pésimo así que al alcanzar el monto no agrega más prendas a producción de esta manera busca ahorrar tiempo y materiales.

Para el escenario normal la tela del tipo 1 y 2 sigue el mismo comportamiento, no es usada totalmente, un total de 1375.77 metros de tela tanto del tipo 1 y 2 no son usados.

Restricción	Valor del lado derecho	Rango superior	Rango inferior	Holgura	Dual
Tipo de tela 1	4025.28 metros	Infinito	2649.51	1375.77	0.00
Tipo de tela 2	4025.28 metros	Infinito	2649.51	1375.77	0.00
Tiempo disponible	67200 minutos	Infinito	65448.85	1751.15	0.00

Tabla 18. Análisis de sensibilidad lado derecho escenario normal. Fuente: Elaboración Propia.

Para el tiempo de producción 1751.15 minutos no son usados, al igual que en el anterior escenario la restricción del valor histórico obliga al plan de producción de alcanzar esa cifra histórica y para la producción ahorrando material y tiempo de confección. Es decir, se puede alcanzar la producción de \$ 58248 en un tiempo de 65448.85 minutos, lo que ahorra a la empresa textil 1751.15 minutos en mano de obra.

En base a los resultados del análisis de sensibilidad para cada escenario de las restricciones se puede decir que el plan de producción que se obtiene se ve limitado por los valores históricos a el cual el modelo debe alcanzar, esto hace que el plan de producción no haga uso de toda la tela disponible ni el tiempo de producción. Sin embargo, si no se tuviera la restricción del valor histórico los resultados se ven limitados por el tiempo de producción donde el tiempo para confeccionar los productos es usado en su totalidad pero los materiales disponibles no lo son, así que el plan de producción resultante sugiere realizar la mayor cantidad de productos de mayor valor de venta en el tiempo disponible.

4.4. Ventajas y desventajas del modelo de optimización

Se puede indicar varias ventajas y desventajas frente a la optimización de la producción en base a la experiencia y resultados obtenidos a lo largo de este trabajo de titulación.

Las ventajas de la aplicación de este modelo es que se adapta a los tipos de tela disponible para la confección y a su cantidad de metros disponible de cada una



de ellas lo que permite agregar más restricciones sin cambiar el moldeo en profundidad, también se adapta al número de productos los cuales se toman como variables de decisión. Así también, crea un plan de producción en función de encontrar el mejor rendimiento para aprovechar el tiempo de producción disponible y maximizar ganancias a la vez; independientemente de los datos ingresados al modelo, este hará uso de todo el tiempo de confección disponible.

Una ventaja importante es que al momento de usar un modelo multiobjetivo con valor de prioridad para cada función objetivo estas se pueden modificar de manera sencilla, lo que daría un mayor énfasis a otros factores que pueda interesar más en un determinado momento en el tiempo.

Por otra parte, el método presenta como desventajas las limitaciones de los supuestos, sobre todo en la venta total de todos los productos presentes en el plan de producción, ya que se considera que todo se vende dentro de un mes sin tener en cuenta el factor humano, este factor es considerado como intangible ya que el comportamiento humano puede ser crucial para la toma de una decisión final la que puede influir de manera positiva o negativa dentro del sector textil, esto se debe a que es una decisión personal del cliente la compra o no de un producto. (Sting, 2002).

Otra clara desventaja es que no se cuenta con los productos o categorías más vendidas en un determinado mes, esto lleva a que solo se considere los productos con las mejores disposiciones como menor tiempo de confección y mayor valor de venta.

4.5. Herramienta para la toma de decisiones

Esta herramienta para la toma de decisiones tiene como propósito el uso de un modelo de optimización lineal multiobjetivo, capaz de dar alternativas de producción según los datos que se le entregue al modelo por parte del decisor. Así también se permite que se modifique los parámetros y datos propuestos según sea el caso de estudio y así obtener resultados apegados a su realidad. Ver **Anexo 3**: Manual de Usuario del modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística interna enfocado a la optimización de la producción y maximización de las ganancias de las MIPYMES textiles en el cantón Cuenca..



Capítulo 5

5. Conclusiones y trabajos futuros

5.1. Conclusiones

El objetivo del trabajo de titulación fue proponer un modelo de programación lineal multiobjetivo para maximizar el desempeño efectivo de la producción, maximizando las ganancias de micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) del sector textil, este modelo propuesto inicio desde algo sencillo fue evolucionando en base las necesidades de las empresas textiles consultadas para este trabajo de titulación. Así mismo, han sido cumplidos los objetivos específicos: se realizó una revisión sistemática de las metodologías en las investigaciones referentes a la optimización de producción y ganancias en el sector textil; se diseñó un modelo de programación lineal multiobjetivo mediante un enfoque mezcla con prioridades para cada función objetivo; se programó una herramienta, en el lenguaje de programación python junto a Gurobi Optimizer, para la toma de decisiones de MIPYMES del sector textil que incluya el modelo de programación lineal multiobjetivo y se observó e interpretó el comportamiento del modelo de programación lineal multiobjetivo mediante el análisis de sensibilidad comparando los resultados obtenidos con los datos reales de MIPYMES del sector textil. Los resultados de este modelo de optimización permitieron al caso de estudio identificar estrategias para mejorar la producción, incrementar las ganancias y aprovechar el tiempo máximo de trabajo disponible para fabricar productos.

El modelo de optimización lineal multiobjetivo con enfoque mezcla propuesto para la optimización logística interna para la creación de un plan de producción textil en una MIPYMES, obtuvo una solución óptima significativa en comparación con los valores históricos de los casos de estudio. El modelo de optimización propuesto puede ser utilizado para cualquier MIPYMES del sector textil de forma sencilla, donde la empresa desee crear un plan de producción en base a la materia prima disponible y los horarios de trabajo para la fabricación de productos textiles. Las restricciones de este modelo se configuraron en función del tipo de tela disponible según cada caso de estudio y una restricción que indica el tiempo de fabricación disponible.

La función objetivo a optimizar resultante está representada por dos funciones con sus respectivas prioridades, la primera basada en la ganancia y la segunda en hacer la mayor cantidad de productos en el tiempo de producción establecido, estas prioridades permiten dar mayor importancia a otros factores que pueda interesar más en un determinado momento en el tiempo.

Por lo tanto, el modelo de optimización lineal multiobjetivo sugirió que el decisor de la toma de decisiones fabrique tantos productos como sea posible del mismo tipo y fabrique productos con una cantidad mínima de tipo de tejido en el tiempo



excedente. Finalmente, si se considera el modelo de optimización presentado, se deben tener en cuenta factores intangibles, como el comportamiento humano, que pueden ser crucial para tomar una decisión final, este factor puede influir positiva o negativamente dentro del sector en el que se aplica el modelo, ya que el modelo presentado en este trabajo de titulación está desarrollado bajo valores fijos y supuestos que no consideran el factor humano como gustos en la elección de la prenda textil.

5.2. Trabajos futuros

Como trabajo futuro se puede realizar una investigación y creación de un modelos matemático que indique cuales son las categorías más vendidas en cada mes de un año o agregar una restricción que indique la cantidad mínima de categorías que deben estar presentes en el modelo de optimización, es decir integrar una variable correspondiente a la demanda de los diferentes productos, de esta forma se busca reforzar el modelo para una mejor toma de decisiones.

Además se podría incluir o evolucionar el modelo de optimización a una optimización con escala mensual, esto debido a que las ventas presentes en el caso de estudio presentan una cierta estacionalidad; de esta manera se busca obtener a futuro una optimización a mediano plazo.

Se podría incluir variables enteras y lograr un modelo de programación lineal mixta para poder determinar el esquema de producción para poder determinar si se agrega o no un producto.



Referencias

- Asociación Española para la Calidad AEC. (2019). Gestión de la logística. <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/gestion-de-la-logistica>
- Ahlaqqach, M., Benhra, J., Mouatassim, S., & Lamrani, S. (2017). Modeling and solving the multi-objective Heterogeneous vehicles routing problem in the case of Healthcare Textile. In ITMC2017-International Conference on Intelligent Textiles and Mass Customisation (No. 1).
- AITE I Industria. (2015). AITE Boletines, Historia y Actualidad <https://www.aite.com.ec/industria.html>
- Alcazar Moran, G. P. (2019). Modelo de gestión para la optimización de los procesos de contratación de personal en las empresas familiares del sector textil en la ciudad de Guayaquil (Doctoral dissertation). <http://biblioteca.uteg.edu.ec:8080/handle/123456789/165>
- Algarín, C. A. R. (2010). Optimización por colonia de Hormigas: Aplicaciones y Tendencias. Ingeniería Solidaria, 7.
- Araujo Cajamarca, R. E. (2009). Asignación de máquinas a órdenes de producción mediante programación lineal entera: caso: empresa textil.
- Asamblea Nacional del Ecuador.: Ley Orgánica de Régimen Tributario Interno, Ecuador.Ecuador (2018).
- Badea, L., Constantinescu, A., Grigorescu, A., & Visileanu, E. (2016). Time optimization of the textile manufacturing process using the stochastic processes/Optimizarea timpilor procesului de fabricatie textila folosind procesele stochastice. Industria Textila, 67(3), 205.
- Barcos, L., Rodríguez, V., Álvarez, M. J., & Robusté, F. (2002). Algoritmo basado en la optimización mediante colonias de hormigas para la resolución del problema del transporte de carga desde varios orígenes a varios destinos. In V Congreso de Ingeniería del Transporte Angel Ibeas Portilla-José M^a Díaz y Pérez de la Lastra© Santander-CIT.
- Caguana, P. A. (2018). Cálculo para maximizar las ganancias de la fábrica de muebles el Artesano SA.
- Campo, E. A., Cano, J. A., & Gómez-Montoya, R. A. (2020). Optimización de costos de producción agregada en empresas del sector textil. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 28(3), 461-475.



- Correa Marín, J. A., & Rodríguez Daza, L. F. (2014). Modelo para la simulación de un ruteo logístico interno para una empresa que importa textil desde China.
- Cortés, M., Miranda, R., Sánchez, T., Curbeira, D.: Aplicaciones de la Modelación Matemática a la Administración y la Economía. Universidad Autónoma del Carmen. Mérida. México. (2005)
- De la Hoz, E., Vélez, J., & López, L. (2017). Modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística inversa en el sector plástico de polipropileno. *Información tecnológica*, 28(5), 31-36.
- Diwekar, U.: Introduction to applied optimization. Springer Nature 22, 22(2020).
- El Proceso Textil. (2013). Guía de Prevención de Riesgos Laborales. <http://www.atexga.com/prevencion/es/guia/el-proceso-textil.php>
- Espinoza, D.: Que hay de nuevo en Gurobi 7.0, Recuperado 20 junio 2021 de <https://www.gurobi.com/pdfs/webinars/gurobi-7.0-webinar-slides-es.pdf>
- Ferrer, M., Ariza, Y., Martínez, J., Garizao, J., & Pulido-Rojano, A. (2019). Modelo de optimización colaborativo para la minimización de los costos variables de transporte de carga por carretera en Colombia. *Investigación y desarrollo en TIC*, 10(1), 26-36.
- Fink, A. (2013). *Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper*. SAGE Publications.
- Garay, A. (2017) *Logística: conocimientos, habilidades y actitudes*. El Cid Editor. ISBN versión digital: 978-1-5129-3525-7
- Guerra, B. G., Gutiérrez, L. S., López, D., & Sánchez, D. (2017). "Diseño de un sistema de producción y operaciones aplicado a una empresa de confección de chaquetas para dama, mediante el uso de modelos matemáticos" (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Minuto de Dios). <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/5305>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). Definición del alcance de la investigación a realizar: exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa. In *Metodología de la investigación*. Retrieved from <http://www.casadellibro.com/libro-metodologia-de-la-investigacion-5-ed-incluye-cd-rom/9786071502919/1960006>
- Maida, E G, Pacienza, J. *Metodologías de desarrollo de software*[en línea]. Tesis de Licenciatura en Sistemas y Computación. Facultad de Química e



Ingeniería “Fray Rogelio Bacon”. Universidad Católica Argentina, 2015.
Disponible en:
<http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/metodologias-desarrollo-software.pdf>

Mipymes y Organizaciones de Economía Popular y Solidaria son una pieza clave para la economía del país – Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2018). Recuperado 30 de mayo de 2021, de <https://www.normalizacion.gob.ec/mipymes-y-organizaciones-de-economia-popular-y-solidaria-son-una-pieza-clave-para-la-economia-del-pais/>

Moreno, S., Serna, M., Uran, C., Zapata, J.: Modelo matemático para la optimización de la red de distribución de una empresa de transporte de paquetería y mensajería terrestre. *Dyna*, 87(214), 248-257 (2020).

Olivos, P. C., Carrasco, F. O., Flores, J. L. M., Moreno, Y. M., & Nava, G. L. (2015). Modelo de gestión logística para pequeñas y medianas empresas en México. *Contaduría y administración*, 60(1), 181-203. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0186104215721510>

Ortiz, J. G. (2017). Modelo matemático para la planificación de la producción del sector cuero en la parroquia de Quisapincha (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Administrativas. Maestría en Gestión Empresarial basado en Métodos Cuantitativos).

Ríos, R. G., & Sánchez, C. G. (2004). Modelo matemático para la planificación de la producción en la cadena de suministro. *Ingeniería Industrial*, 25(2), 7.

Rodríguez, R. (2016) Programacion Lineal Entera. <https://es.slideshare.net/RogerRodrguez6/programacion-lineal-entera>

Segovia, D. C., & Puente, M. M. (2009). Desarrollo de un modelo de optimización de los procesos productivos de un laboratorio farmacéutico aplicando programación lineal entera mixta con múltiples objetivos. *Industrial data*, 12(1), 55-61.

Souza, I. (2019) Definición, elementos básicos y objetivos. *Rock Content - ES*. <https://rockcontent.com/es/blog/diagrama-de-pareto/>

Stingl, E. P. E., & Pohlhammer, J. O. M. (2002). Modelo de optimización de la logística de distribución de una empresa de alimentación (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica de Chile).



https://www.researchgate.net/profile/Jose_Maldifassi/publication/301542662_modelo_de_optimizacion_de_la_logistica_de_distribucion_de_una_empresa_de_alimentacion/links/5717dbf008aed8a339e5b045/modelo-de-optimizacion-de-la-logistica-de-distribucion-de-una-empresa-de-alimentacion

- Toledo, M., Torres, C., Llivisaca, J., Peña, M., Siguenza-Guzman, L., & Veintimilla, J. (2021) Optimization Models Used in the Textile Sector: A Systematic Review.
- Torres, C., Toledo, M., Llivisaca, J., Peña, M., Siguenza-Guzman, L., & Veintimilla, J. (2021) Internal logistics optimization based on a multi-objective linear model for micro, small, and medium textile enterprises.
- Trifan, A., Brătucu, G., & Madar, A. (2015). Optimization model for an assortment structure of textile confections. *DE REDACTIE*, 365.
- Tsai, W. H. (2018). Green production planning and control for the textile industry by using mathematical programming and industry 4.0 techniques. *Energies*, 11(8), 2072.
- Vélez, M. C., & Montoya, J. A. (2007). Metaheurísticos: una alternativa para la solución de problemas combinatorios en administración de operaciones. *revista eia*, 8, 99-115.
- Visualizador de Estadísticas Empresariales | INEC. (2021). Visualizador de Estadísticas Empresariales de Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).
<https://public.tableau.com/app/profile/instituto.nacional.de.estad.stica.y.censos.inec/viz/VisualizadordeEstadisticasEmpresariales/Dportada>
- Winston, Wayne L. (2005) Investigación de operaciones, cuarta edición. Thomson.
- Zhang, L. (2015). Dynamic Optimization Model For Garment Dual Channel Supply Chain Network: A Simulation Study. *Int k simul model*, 14.
<https://www.mdpi.com/2227-7390/7/10/929>
- Zhou, L., Xu, K., Cheng, X., Xu, Y., & Jia, Q. (2017). Study on optimizing production scheduling for water-saving in textile dyeing industry. *Journal of cleaner production*, 141, 721-727.



Anexos

Anexo 1: Artículo aceptado para el ICAT 2021

Optimization Models Used in the Textile Sector: A Systematic Review

María Belén Toledo ¹[0000-0002-8626-0772], Christian Torres Torres ¹[0000-0001-5005-4814], Juan Carlos Llivisaca ^{2,3}[0000-0003-2154-3277], Mario Peña ^{3,4}[0000-0002-3986-7707], Lorena Siguenza-Guzman ¹[0000-0003-1367-5288] and Jaime Veintimilla-Reyes ¹[0000-0003-0409-9602]

¹ Department of Computer Sciences, Faculty of Engineering, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador

² Faculty of Chemical Sciences University of Cuenca, Cuenca, Ecuador.

³ Department of Applied Chemistry and Systems of Production, Faculty of Chemical Sciences, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador

⁴ Research Department (DIUC,) Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador
{marcelo.torres, belen.toledo, juan.llivisaca, mario.pena, lorena.siguenza, jaime.veintimilla}@ucuenca.edu.ec

Abstract. In recent years, several papers dedicated to obtaining optimization models have been published, which have been applied in the textile sector as it is part of the economic development areas of a country, being one of the main sources of employment. The main objective of this paper is to review the literature that has been published on optimization models and to understand what methods their authors used to solve the optimization problems that arose in the textile sector. To carry out this systematic review, it was necessary to apply a methodology that begins with the selection of research questions, digital databases and search terms to later apply practical and methodological filters that allow us to make a review and synthesize the results obtained on the optimization models, once this process was carried out, it was obtained that the models resulting from the systematic review vary depending on the areas to be optimized. The most frequent being transport and production followed by cost minimization, optimized mainly with linear programming, integer programming, Markov chains, genetic algorithms and multi-objective programming.

Keywords: Textile, Optimization, Logistics, Systematic Review.

1 Introduction

Micro, small and medium-sized enterprises (MSMEs) are part of the retail trade. This is one of the economic sectors that includes organizations belonging to the mass consumption sectors and the marketing of products and services to the final consumer, becoming the main generators of economic resources within a country [1]. According to the National Institute of Statistics and Censuses of Ecuador, retail is a fundamental part for the growth of the productive matrix since it generates sources of employment and contributes to improving the economic indexes of the population [2]. Within retail



we have textiles that form a large sector due to the breadth of textile processes which are made up of a series of related processes that range from obtaining fibers to manufacturing and their subsequent acquisition by a user. In the end, this production process can be divided into the textile industry itself, which includes the areas of fiber manufacturing, spinning preparation, spinning and weaving, and the clothing industry, which also has phases such as the design of products, pattern making, cutting, ironing, packaging, transport and depending on the product manufactured, the embroidery or quilting phases can be added; In addition, the products offered by this sector are considered mass consumption products. In this paper we will focus on conducting a bibliographic review on the optimization models used in the textile sector, because it has been affected by changes in its internal logistics processes such as: product demand, sales, customer service, transportation, inventory management and order processing, one of the ways to solve the changes faced by the textile sector is the use of mathematical models, where a tool is generated that allows strategic decision-making that offers an operational analysis of the efficiency of the activities carried out, being also a research and forecasting instrument [3]. Although mathematical models help to make a decision regarding what is optimized, we must take into account that there are intangible factors, such as human behavior that can be crucial for making a final decision, which can influence positively or negatively within the sector in which the mathematical model is applied [4].

It is important to mention that through the use of mathematical models, various classical and metaheuristic methods have been developed within operational research over the years, which try to find an optimal solution in the search space, seeking to achieve a global optimum through the flexibility in handling the problem, although convergence is not guaranteed since the quality of the solution obtained is unknown [5]. Some of the classic methods that have been developed are: Linear programming that allows the optimization of an objective function by applying various restrictions to its decision variables [;Error! No se encuentra el origen de la referencia.]; In Integer Linear Programming, the decision variables can only take integer values and the coefficients involved in the problem must also be integers [6]; Mixed Linear Programming addresses problems in which the decision variables are continuous and can only take integer values [6]; Binary linear programming involves a binary variable which can only take values of 1 or 0. And these variables are used to solve inclusion or exclusion problems [6]; Multi-objective programming allows solving models in several instances, revealing their robustness and showing how it can help to find a balance between the main objectives related to supply chains [;Error! No se encuentra el origen de la referencia.]. Also within the metaheuristics we can find: Genetic algorithms that work on a set of solutions or a population that are represented as a binary chain or chromosomes, crosses the individuals with the highest aptitude to renew the population and eliminates those with less aptitude, obtaining a chromosome with greater aptitude that will represent the solution to the problem posed [8]; Markov chains are a stochastic process, in which the states of a process are presented by means of transition probabilities that go from state x to y , allowing to know the probabilities of each state in the long term [10]; Ant colonies is based on the real behavior of ants and is a probabilistic technique that helps to find the best routes or paths in graphs [11].



It should be mentioned that the systematic review was carried out because a similar work focused on optimization models in the textile sector was not found, but degree works and academic papers were found in which a literature review is carried out to justify the study use of the method they employ for their optimization models.

The rest of the paper is organized as follows: Section 2 indicates the methodology that will be used to carry out the systematic review on the optimization models used in the textile sector, section 3 presents the results and discussion. Finally, the conclusion of the paper is provided in section 4.

2 Material and Method

The design of the systematic review on the optimization models used in the textile sector responded to the purpose of collecting, selecting, evaluating and summarizing the evidence found regarding the optimization models used in the different areas of the textile sector. To carry out the systematic review, the Fink methodology was used, which consists of the following tasks: 1) Select Research Questions, 2) Select Bibliographic Databases and Web Sites, 3) Choose Search Terms, 4) Apply Practical Screen, 5) Apply Methodological Quality Screen, 6) Do the Review, 7) Synthesize the Result [12].

To carry out the systematic review, it began with the selection of research questions, where it was established that the main question to be answered is: Which optimization methods have been applied to the textile sector? Subsequently, the search sub-questions were defined, whose objective is to obtain information that allows to delimit the field of research that is being studied and these questions were: What areas of the textile sector are being optimized? Why is necessary to find out the management of production processes within internal logistics? What tools or solvers are being used to solve optimization models? What parts are involved in the optimization process? How are the results of the optimization model being compared with the real data of a case study? What indicators are used to validate the results of the optimization model?

Once the research field is defined, it is necessary to select the bibliographic databases and web sites in which the literature searches will be carried out, selecting ACM Digital Library, Google Scholar, SCOPUS and Springer Link. They are part of the most recognized digital databases and have topics related to what is being discussed in this paper.

In order to search for scientific papers in the aforementioned databases, a set of terms were proposed that include "Model", "Optimization", "Logistics", "Production", "Sales" and "Textile Sector", with which Search strings will be built. In addition, the search requirements used in each database will be included, for example in the case of Google Scholar for each search string the following search strategies were considered: the exact phrase, at least one of the words, where the words appear, show papers dated between 2015 - 2021 and language. For the search of the primary articles to reference this work, different search strings were used, as in the case of Google Scholar the following string was used "Model" and "Optimization" and ("Logistics" or "Production"



4

or "Sales") and "Textile Sector", which was made up of the relevant terms mentioned above and logical connectors which allow us to combine different terms with each other and establish logical relationships between the terms, with these search strings being structured according to the requirements of each database, 658 articles were obtained (see **Table 1**). Practical filters were applied to these articles such as interval of years and language and methodological filters in which, through their metadata such as title, keywords and abstract. Documents that did not correspond to the object of the review and those that were duplicates.

Table 1. Number of documents per database

Database	Number of results
Digital Library ACM.	105
Google Scholar	491
Scopus	22
Springer Link.	40

With the results obtained after the application of the first filters, the articles that meet the inclusion criteria will be selected, such as: 1) Studies that present information about optimization methods and techniques in the textile sector. 2) Studies that present information about optimization areas in the textile sector; and with the following exclusion criteria: 1) Studies that are duplicated in the different digital libraries. 2) Articles in languages other than English or Spanish.

Once all the filters had been applied, a manual review of the references of the papers was carried out in order to determine secondary sources and to know if there were papers that referenced another of the selected ones. In addition, we sought to know the reliability of the 31 papers by reading them, in which the papers that justified the use of an optimization method were selected and that also showed in detail how to use the method, the objective functions, restrictions and the results obtained with their proposed model, obtaining a total of 11 papers for systematic review.

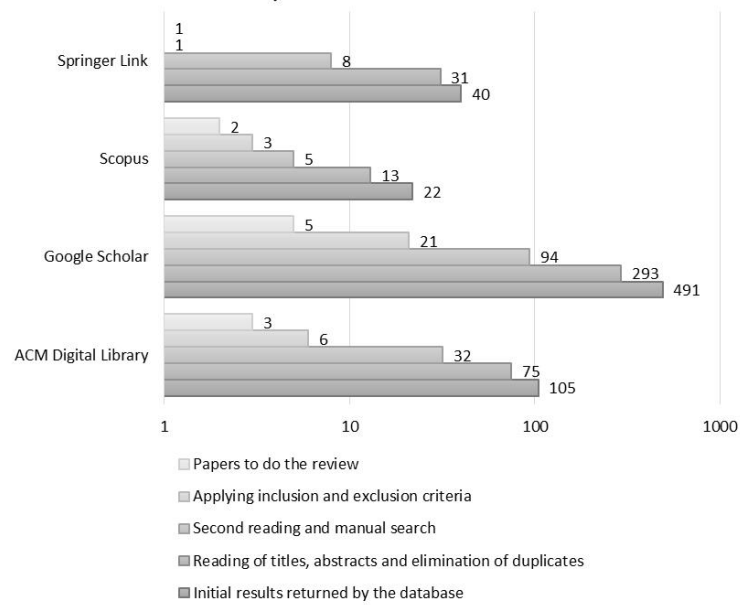


Fig. 1 shows the number of articles found after applying the first filters, compared with the number of articles after applying the inclusion and exclusion criteria with the number of articles accepted for this systematic literature review.

6

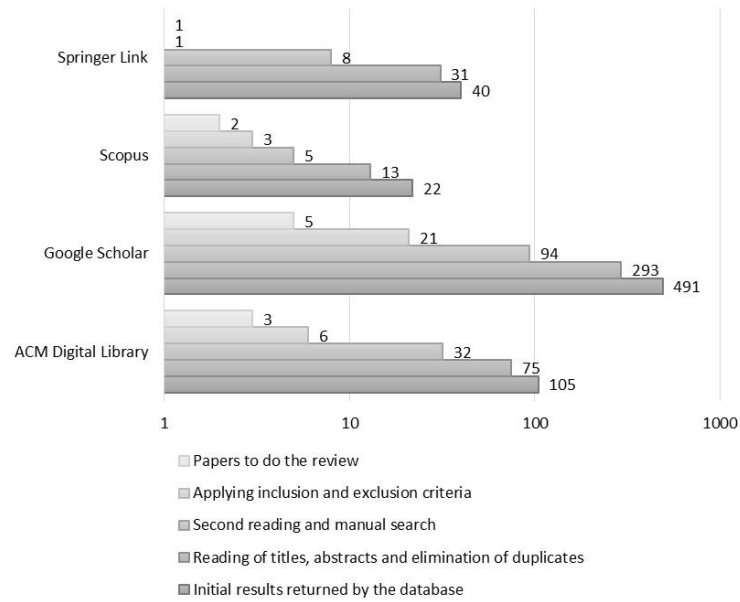


Fig. 1. Number of papers filtered

3 Results and Discussions

This section will seek to present the main findings found in this systematic review, and will also seek to synthesize the results obtained after filtering the papers.

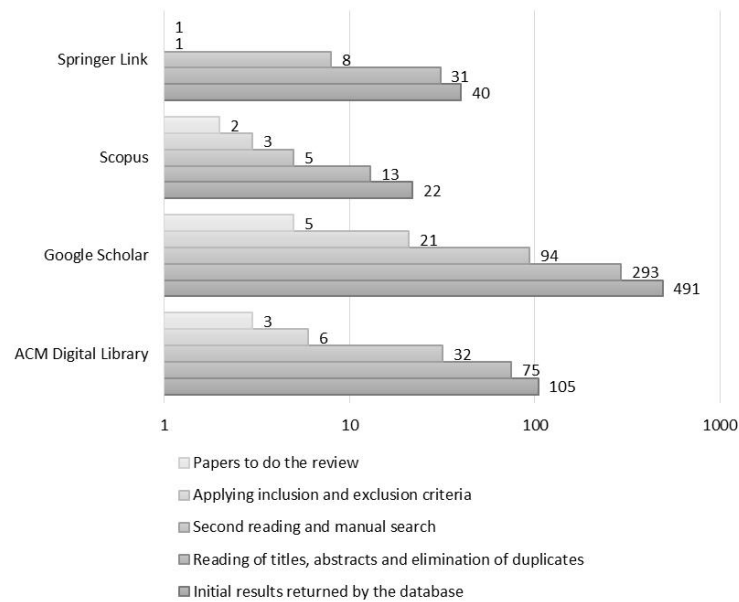


Fig. 1 shows the number of articles that were initially obtained in the digital databases, and it is visualized that after applying filters, 11 articles were selected to reference this work. As mentioned in previous sections and as we can see in figure 1, the number of articles to be reviewed is significantly reduced, below we will explain how the process for filtering articles was, taking as an example ACM Digital Library, the article selection process It begins with entering the search string in the search bar of the digital database, the search parameters are configured according to the database and the initial results are obtained, for this database there were 105 articles of which citations are exported in BibTeX format which generates a file that is used to process reference lists, later this file is opened with a bibliographic reference manager in this case Zotero, in this tool we can view the type of element, whether it is an article from an academic journal, a book, a thesis or a conference article; In addition, the title of the publication, the author or authors, the abstract, the date of publication will be indicated, and depending on the type of publication, the volume, issue, pages, ISSN and DOI. The first filter is applied to these 105 exported articles, which consists of reading the titles of the publications, the abstracts and determining their relationship with the subject of this study, in addition, it seeks to eliminate duplicate documents in the same database, because



There were cases in which the authors of an article presented an update of the same and this was registered as a new article by the publication dates and for this case 75 articles were obtained that could be useful, in the application of a second filter it was carried out a new filtering process in which the metadata of the articles was read again, this time taking into account the dates and type of publication that were not considered for the first filter, and a brief manual search was carried out in the database. data waiting to find more recent articles and the results of the 4 databases were verified to eliminate duplicates between the databases, ending this s In the second filtering stage, the number of articles obtained was 32 for this case, in the application of the third filter, the inclusion and exclusion criteria mentioned in the previous section were taken into account, obtaining a total of 6 articles of which we proceeded to read the full text of the publications, in some cases it was necessary to discard documents since they did not allow access to their full text, some articles replicated what was done in another article, others did not explain the optimization method used or it was not indicated If the results of the optimization model that they raised were useful or not for the case study in which it was implemented, finally obtaining for this digital database a results of 3 articles to carry out the systematic review. A similar process to this was carried out with the other 3 digital bases.

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. Taking into account the extraction criteria mentioned in the previous section, the articles that could be useful for this review were classified, so we grouped the criteria according to the sub-research questions and the possible answers that could answer these questions.

In research sub-question 1: *What areas of the textile sector are being optimized?* two criteria were established which are: 1) Optimized areas of the textile sector and 2) Optimized areas in the internal logistics of the textile sector. The possible answers are: Labor Costs, Inventory Management, Production Costs, Production and Demand Control, Waste Reduction, Product Demand, Sales, Customer Service, Transportation, Inventory Management, Order Processing. In research sub-question 2: *Why do you want to find out the management of production processes within internal logistics?* The criteria of internal logistics production processes were established. The possible answers are: Forecast Demand, Purchasing, Production planning, Inventories, Warehouse, Pick & pack, Distribution plan, Transportation, Customer service. In research sub-question 3: *What tools are being used to solve optimization models?* The criterion was established: Tools for solving optimization models, and the possible answers are: LINGO, GUROBI, Xpress_MP, WINQSB, GAMS, Large Scale Solver, CPLEX Concert. 4: *What parts are involved in the optimization process?* Two criteria were established, which are: calibration and validation of optimization models. The possible answers are: Adjustment could be used for calibration of parameters, Inverse engineering, Probabilistic models and in order to validate the models, it is possible to evaluate parameter settings, Distributions shown by the model, Parametric tests. In research sub-question 5: *How are the results of the optimization model being compared with the real data of a case study?* The criteria of Optimization model comparisons was established and the possible answers are: Procedures iterative, Value of convergence of the algorithms, Simulation scenarios, Historical data of the company. In research sub-question 6: *What indicators are used to validate the results of the optimization model?* Two criteria were

established which are: Ways to interpret the behavior of an optimization model, Importance of interpreting the behavior of the models. The Possible answers are: Sensitivity analysis, Scenario analysis and to determine the importance of the behavior of the models, the most common answers are making better decisions, ensuring quality control, allocation of resources in an appropriate way.

The results of the systematic review have allowed us to know the main characteristics of 10 optimization methods such as: nonlinear programming of mixed integers, deterministic mathematical programming with multiple objective functions, Markov chains, integer programming, multi-objective programming, Algorithm dynamic genetic, Integer linear programming with Industry 4.0 techniques, Hub and Spoke with PDNDP (Parcel delivery Network Design Problem) and p-median., linear programming with the least cost method and linear programming, which have been used in different areas of the textile sector, as we can see in **Table 2**, it was noted that these methods can work by themselves or they can be combined with other optimization processes or with statistical techniques to improve the performance of the model.

Table 2. Optimization methods and area in which it is used

Method	Area
Mixed integer nonlinear programming	Production and distribution
Linear programming with the minimum cost method	Transportation
Linear programming	Chain of supplies, Labor, Inventory Management
Whole linear programming with industry techniques 4.0	Production and recycling (Water and Energy)
Deterministic mathematical programming with multiple target functions	Production
Markov chains	Production times
Whole programming	Production and distribution
Multi-objective programming	Production and transportation
Dynamic genetic algorithm.	Production of dyeing, recycling (water)
Hub and Spoke with PDNDP (Parcel Delivery Network Design Problem) and P-Medium	Distribution network and transportation

As observed in **Table 2**, the areas of the textile sector that have been optimized in the different studies are: supply chains, production and distribution. In addition to minimizing labor costs, transportation and inventory management, also it has been sought to optimize the consumption of water and energy in this sector. The areas that appear the most in the revised bibliography are those of production and sales since they are considered the most conflictive areas within a company. These areas present conflicts



because in many cases, the sales team wants to offer a greater quantity of products in the shortest possible time, but the production department needs to take the time to offer finished products [13].

One of the most optimized areas of the textile sector is that of production chains, where several optimization models have already been carried out. The model proposed by Zhang aim to optimize a production network and dual channel distribution based on pre-sales and building a tiered supply chain made up of manufacturers and distributors, while the extra information needed is obtained through numerical simulations feedback by normal distribution channels, using the model allowed them to increase sales revenue, overall profit, and solve excess inventory problems [14]. Zhang for his model used mixed integer nonlinear programming, which justified that his model used many variables and the restrictions were complex, which made it difficult to solve with traditional methods; Gómez designed with linear programming a mathematical model applied to the planning of production and distribution of products seeking to obtain operational efficiency throughout the entire production chain and thus streamline organizational decision-making, obtaining positive results in its execution [15]. In the study carried out by Trifan seeks to create a model that optimizes a clothing assortment structure through the use of deterministic mathematical programming with multiple objective functions [16]. The author indicates that since there are multiple objective functions, the optimal solution for this function will not always be optimal for the other functions, thus they resort to the use of a solution that they call "the best compromise", which will be a non-dominant solution, the one that is considered as a Pareto-optimal solution [16]. Within the production area, it is possible to optimize times as indicated by Badea that since there is a certain number of steps to follow for the textile manufacturing process, stochastic processes can be used to design a Markov chain that in addition to the production process. One of its advantages is that a correct approximation of the manufacturing time can be obtained taking into account that there are repeated and critical stages in which products that need repair or waste may appear at any time [5].

In some companies in the textile sector, it may also be found that it is necessary to optimize distribution processes such as transport, since at present the costs of contracting this service are very high and acquiring a fleet for companies can also mean a great investment since not only will the cost of the vehicles be taken into account, but they require fuel and maintenance for their correct operation. Ferrer in his study has sought the creation of an optimization model through linear programming that allows reducing transport costs by developing strategies that consider the costs of the variables and the volumes of cargo that can be transported [17]. Ruiz Moreno in a similar way to Ferrer, developed a model that allows optimizing the distribution network of a transport company, taking into account that these companies can have a large number of clients with different facilities and a high number of vehicles to manage [18]. The model that was generated allows the allocation of goods to customers in each installation of the distribution network based on conditions such as the load of the vehicle. Ahlaqqach indicates that it is necessary to create economic and sustainable logistics solutions, for which he has worked on a multi-objective optimization model for hospital textile collection problems, looking for a way to optimize problems in vehicle routes. In addition with linear programming they manage the heterogeneity of the vehicle fleets and the compliance of the time windows [19]. The results obtained by combining these methods was a



robust model for inverse logistics that allowed finding the equilibrium point between the main objectives.

Within the textile sector, water is a fundamental resource since it is used in various parts of the production process such as dyeing where when applying chemicals that make it difficult to treat. Thus, there will be a large amount of wastewater that will cause environmental problems in the future, motivated by this, researchers such as Zhou have created studies on the optimization of production to save water, using genetic algorithms to optimize the dyeing process based on the color and depth of dyeing [20]. They also compared the results obtained with the optimization model versus without a model, where it was shown that the use of the optimization model did reduce water consumption. Tsai in search of planning and controlling ecological production in the textile sector combined mathematical programming and industry 4.0 techniques. Mathematical programming is used to determine product combinations and industry techniques. 4.0 will be in charge of controlling the production process [21].

One of the objectives when creating a company is always linked to obtaining a greater profit, so it is necessary to minimize costs. Campo recommends optimizing the costs of aggregate production, where labor costs, inventory management and subcontracting will be minimized [22]. In this model, characteristics such as fabrics, product losses, efficiency of employees and the time it takes to train and train a new employee. In addition, the model allowed to identify strategies such as increased production capacity, storage per process and the variation of labor in each planning period.

The authors of the reviewed papers use several tools to solve the optimization models they propose, some of them include in their papers how the results obtained by their models were verified. These verifications were carried out mainly by implementing their models in real companies or comparing their results with the historical data of these companies.

4 Conclusions

This part presents a systematic review of works that use various optimization methods in different areas of the textile sector. The most frequent areas were production and transport, as well as minimizing costs to obtain a greater benefit, taking into account that this does not affect the efficiency of the production processes and quality that the final products may have. To answer the main research question on which optimization models have been applied in the textile sector, it has been found that each author, after conducting their own literature review, decided to use the method that best suited their needs, with the methods of linear programming, mixed integer nonlinear programming, multi-objective programming, Markov chains and genetic algorithms, with which they obtained an adequate solution which they could verify by applying their models to real case studies or the results of the models were compared with the historical data of the companies. Furthermore, we can say that these methods that they used despite their good results can be improved by combining them with other traditional optimization methods, with the use of meta-heuristics or with other techniques such as those of industry 4.0. It is also important to mention that some of these models can be used by

other sectors that are related to logistics, supply chains, production, planning and organization of transport processes, regardless of the model used, it will seek to represent real conditions or particular of the aforementioned processes, modifying only the parameters for the sector that will use it. This systematic review seeks to facilitate decision-making on the optimization models that can be used in areas of the textile sector, taking into account the effectiveness and efficiency that these had when applied in real scenarios. If it were necessary to choose a model to test it in a real case study oriented to the textile sector, based on this systematic review, the information that the case study can provide, the size of the company and the need to be covered should be taken into account, the latter being the most relevant since it will allow us to decide on an optimization method.

5 References

1. Trombetta, M.: El sector Retail como motor de cambio. *Foundation Advanced Series On Problem Driven Research* 1(1), 7-9 (2012), https://www.ie.edu/fundacion_ie/Home/Documentos/El%20Sector%20Retail%20como%20Motor%20de%20Cambio.pdf
2. Visualizador de Estadísticas Empresariales | Tableau Public, <https://public.tableau.com/app/profile/instituto.nacional.de.estad.stica.y.censos.inec/viz/Visualizador-de-EstadisticasEmpresariales/Dportada>, last accessed 2021//07/10
3. Correa, J., Rodríguez, L.: Modelo para la simulación de un ruteo logístico interno para una empresa que importa textil desde China Colombia (2014).
4. Stíngl, E., Pohlhammer, J.: Modelo de optimización de la logística de distribución de una empresa de alimentación (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica de Chile). (2002) https://www.researchgate.net/profile/Jose_Maldifassi/publication/301542662_modelo_de_optimizacion_de_la_logistica_de_distribucion_de_una_empresa_de_alimentacion/links/5717dbf008aed8a339e5b045/modelo-de-optimizacion-de-la-logistica-de-distribucion-de-una-empresa-de-alimentacion
5. Badea, L., Constantinescu, A., Grigorescu, A., Visileanu, E.: Time optimization of the textile manufacturing process using the stochastic processes/Optimizarea timpilor procesului de fabricatie textila folosind procesele stochastice. *Industria Textila*, 67(3), 205 (2016).
6. Winston, W.: Investigación de operaciones aplicaciones y algoritmos. 4th edn. Publisher, Mexico (2005).
7. Roger Rodríguez.: Programacion Lineal Entera. <https://es.slideshare.net/Roger-Rodriguez6/programacion-lineal-entera>, last accessed 2021/06/23.
8. Munier, N., Carignano, C., Alberto, C.: Un Método De Programación Multiobjetivo. *Revista De La Escuela De Perfeccionamiento En Investigación Operativa*, 24(39), (2017).
9. Vélez, M., Montoya, J.: Metaheurísticos: Una Alternativa Para La Solución De Problemas Combinatorios En Administración De Operaciones. *Revista EIA*, 8, 99-115 (2007).
10. Bouillon, A.: Optimización de procesos markovianos de decisión a través de un modelo de programación lineal: El caso de inversión en activos financieros riesgosos. *Review of Global Management*, 4(1), 79-85. (2019).
11. Algarín, C.: Optimización por colonia de Hormigas: Aplicaciones y Tendencias. *Ingeniería Solidaria*, 7, (2010).
12. Fink, A.: Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper. SAGE Publications, (2013).



13. Olivos, P., Carrasco, F., Flores, J., Moreno, Y., and Nava, G.: Modelo de gestión logística para pequeñas y medianas empresas en México. *Contaduría y administración*, 60(1), 181-203 (2015).
14. Zhang, L.: Dynamic Optimization Model For Garment Dual Channel Supply Chain Network: A Simulation Study. *Int k simul model*, 14, (2015).
15. Gómez, A., Armas, A., Toapanta, M., Sinchiguano, E.: Diseño de un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y distribución de productos de consumo masivo. *Revista Publicando*, 4(12 (2)), 348-364 (2017).
16. Trifan, A., Brătucu, G., Madar, A.: Optimization model for an assortment structure of textile confections. *DE REDACTIE*, 365, (2015).
17. Ferrer, M., Ariza, Y., Martínez, J., Garizao, J., Pulido-Rojano, A.: Modelo de optimización colaborativo para la minimización de los costos variables de transporte de carga por carretera en Colombia. *Investigación y desarrollo en TIC*, 10(1), 26-36 (2019).
18. Moreno, S., Serna, M., Uran, C., Zapata, J.: Modelo matemático para la optimización de la red de distribución de una empresa de transporte de paquetería y mensajería terrestre. *Dyna*, 87(214), 248-257 (2020).
19. AHLAQQACH, M., BENHRA, J., MOUATASSIM, S., LAMRANI, S.: Modeling and solving the multi-objective Heterogeneous vehicles routing problem in the case of Healthcare Textile. In *ITMC2017-International Conference on Intelligent Textiles and Mass Customisation 1(1)*, (2017).
20. Zhou, L., Xu, K., Cheng, X., Xu, Y., Jia, Q.: Study on optimizing production scheduling for water-saving in textile dyeing industry. *Journal of cleaner production*, 141, 721-727 (2017).
21. Tsai, W.: Green production planning and control for the textile industry by using mathematical programming and industry 4.0 techniques. *Energies*, 11(8), 2072 (2018).
22. Campo, E., Cano, J., Gómez-Montoya, R.: Optimización de costos de producción agregada en empresas del sector textil. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(3), 461-475 (2020).

Appendix A**Table A1.** Full list of references read in the systematic review.

Paper	Author
1	Badea, L., Constantinescu, A., Grigorescu, A., Visileanu, E.: Time optimization of the textile manufacturing process using the stochastic processes/Optimizarea timpilor procesului de fabricatie textila folosind procesele stochastice. <i>Industria Textila</i> , 67(3), 205 (2016).
2	Olivos, P., Carrasco, F., Flores, J., Moreno, Y., and Nava, G.: Modelo de gestión logística para pequeñas y medianas empresas en México. <i>Contaduría y administración</i> , 60(1), 181-203 (2015).
3	Zhang, L.: Dynamic Optimization Model For Garment Dual Channel Supply Chain Network: A Simulation Study. <i>Int k simul model</i> , 14, (2015).
4	Gómez, A., Armas, A., Toapanta, M., Sinchiguano, E.: Diseño de un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y distribución de productos de consumo masivo. <i>Revista Publicando</i> , 4(12 (2)), 348-364 (2017).
5	Trifan, A., Brătucu, G., Madar, A.: Optimization model for an assortment structure of textile confections. <i>DE REDACTIE</i> , 365, (2015).
6	Ferrer, M., Ariza, Y., Martínez, J., Garizao, J., Pulido-Rojano, A.: Modelo de optimización colaborativo para la minimización de los costos variables de transporte de carga por carretera en Colombia. <i>Investigación y desarrollo en TIC</i> , 10(1), 26-36 (2019).
7	Moreno, S., Serna, M., Uran, C., Zapata, J.: Modelo matemático para la optimización de la red de distribución de una empresa de transporte de paquetería y mensajería terrestre. <i>Dyna</i> , 87(214), 248-257 (2020).
8	AHLAQQACH, M., BENHRA, J., MOUATASSIM, S., LAMRANI, S.: Modeling and solving the multi-objective Heterogeneous vehicles routing problem in the case of Healthcare Textile. In <i>ITMC2017-International Conference on Intelligent Textiles and Mass Customisation</i> 1(1), (2017).
9	Zhou, L., Xu, K., Cheng, X., Xu, Y., Jia, Q.: Study on optimizing production scheduling for water-saving in textile dyeing industry. <i>Journal of cleaner production</i> , 141, 721-727 (2017).
10	Tsai, W.: Green production planning and control for the textile industry by using mathematical programming and industry 4.0 techniques. <i>Energies</i> , 11(8), 2072 (2018).
11	Campo, E., Cano, J., Gómez-Montoya, R.: Optimización de costos de producción agregada en empresas del sector textil. <i>Ingeniare. Revista chilena de ingeniería</i> , 28(3), 461-475 (2020).
12	Wang, H., Memon, H., Shah, H., Shakhrukh, M.: Development of a quantitative model for the analysis of the functioning of integrated textile supply chains. <i>Mathematics</i> , 7(10), 929 (2019).



Anexo 2: Artículo aceptado para el ICAT 2021

Internal logistics optimization based on a multi-objective linear model for micro, small, and medium textile enterprises

Christian Torres Torres¹ [0000-0001-5005-4814], María Belén Toledo¹ [0000-0002-8626-0772], Juan Carlos Llivisaca^{2,3} [0000-0003-2154-3277], Mario Peña^{3,4} [0000-0002-3986-7707], Lorena Siguenza-Guzman¹ [0000-0003-1367-5288] and Jaime Veintimilla-Reyes¹ [0000-0003-0409-9602]

¹ Department of Computer Sciences, Faculty of Engineering, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador

² Faculty of Chemical Sciences University of Cuenca, Cuenca, Ecuador.

³ Department of Applied Chemistry and Systems of Production, Faculty of Chemical Sciences, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador

⁴ Research Department (DIUC,) Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador
{marcelo.torres, belen.toledo, juan.llivisaca, mario.pena, lorena.siguenza, jaime.veintimilla}@ucuenca.edu.ec

Abstract. Daily, textile companies seek to increase production levels through available resources and improve their profit projections over time. For this, it is essential to manage the products to be manufactured based on their raw materials resources and time availability. This work proposes improving decision-making in textile production planning by applying a multi-objective linear optimization model to internal logistics within micro, small, and medium-sized enterprises (MSMEs) of the Ecuadorian textile sector. The application of this optimization model results in a balanced production plan between the objectives related to profit maximization and the use of the time available for production. This article includes the description of the studied case, the definition of the optimization model executed by using the Gurobi solver, the results of the application of the optimization model with the data provided by a case study, and the discussion of the results through a sensitivity analysis.

Keywords: Multi-objective optimization, Internal logistics, Decision making, Textile sector.

1 Introduction

Ecuador has a large number of small and medium-sized enterprises (MSMEs) in the commercial, service and industrial sectors that are the main sources of job creation, and thus they play a very important role in the economy, since they participate in internal trade and labor markets [1].

However, the textile industry has faced disadvantages over the last decade. According to preliminary data from the Ecuadorian Textile Industry Association (AITE), 2020 was considered the most difficult within the Ecuadorian textile and fashion industry.



Unfortunately, the COVID-19 pandemic aggravated this problematic situation. Indeed, the country registered the worst historical data in the industry, with a decrease of at least 5% [2]. As a result, manufacturers are faced with the challenge of improving or optimizing their manufacturing techniques [3].

According to the Regulation on the structure and institutional framework for the productive development of investment and the mechanisms and instruments for productive promotion, established in the Organic Code of Production, Trade and Investments, the classification of companies is based on their workers and the value of their income. Micro, small or medium-sized enterprises (MSMEs) obtain income of less than \$ 100,000 and their staff ranges from 1 to 9 people; for a small company their values range from \$ 100,001 to \$ 1,000,000 with a total of 10 to 49 people; large companies have incomes from \$ 1,000,001 to \$ 5,000,000 between 50 to 199 people; finally, large companies obtain revenues of more than \$ 5,000,001 with more than 200 people [19].

The problem addressed in this project arises within the textile area of a MSME, the problem is based on helping to decide how much and what to produce in a given time. This research project includes a company. This company has considered necessary to make the most of the available manufacturing time since its workers maintain a fixed salary of 160 hours per month and not for the preparation time that is less than these 160 hours. Additionally, they seek to increase their profits in the process. In this way, this study aims to solve two closely related problems: obtaining a maximum net profit and sequentially taking advantage of the working time in person-hours available to manufacture textile products. To solve the proposed problem, mention is made of the scientific approach to operations research and its use in decision-making, specifically in optimization models [4]. This approach uses mathematical models, i.e., mathematical representations of real situations, to make better decisions and solve the proposed problem [5].

Thus, this work aims to develop a multi-objective linear optimization model generating a production plan that solves the proposed problem. Considering the existing capacity constraints and the objective functions involved, guidance is provided to the manufacturer regarding efficient production and profit-maximizing strategies. Furthermore, a sensitivity analysis is considered to observe how the final result is modified by an increase or decrease of factors [6].

This work includes several sections. First, Section 2, of materials and methods describes the case study, the solution methodology, and the definition of the optimization model. Then, in Section 3 of results and discussions, the values obtained from applying the optimization model to the dataset provided by the case study and an analysis of the results are provided. Finally, Section 4 of the conclusions indicates whether the optimization model meets the objectives based on the results obtained.

2 Materials and Methods

This section is structured in three subsections described in the order presented or reviewed within the optimization model creation project. The first subsection mentions the solution and analysis of the optimization model methodology and the conditions in

terms of hardware and software to obtain the results. The second subsection describes the case study based on the information received and gathered. Finally, the third subsection defines the conditions to which the optimization model to be used is subject and its mathematical formulation.

2.1 Solution Methodology

The process used for the development of this project, i.e., the optimization model, consisting of five steps (see Fig. 1).

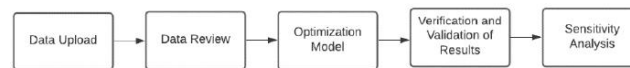


Fig. 1. Solution methodology for the multi-objective linear optimization model.

The data that was accessed to load and create the optimization model belongs to a set of documents in which the MSMEs detailed their financial statements, purchases, sales, raw materials and inventories between the years 2018 - 2020. In addition, they included values for the time of manufacture by using stopwatches according to the garment or category of this to be manufactured. All data is placed in predetermined templates for the creation of the multi-objective linear optimization model, these templates were created based on the information that was available and on the extra information that the textile company could provide.

The data delivered by the case study is sent directly by the textile company, specifically by its finance department, therefore the values used in the optimization model are considered real and revised. For confidentiality reasons, data about your products and / or inventories is not disclosed. It is important to mention that the sale to the final consumer is directly considered and not to wholesalers, in this way it seeks to generalize the results.

The multi-objective linear optimization model is created, the number of decision variables, restrictions are indicated and the objective functions are defined, based on the information provided by the case study, which is already in the format for the creation of the model.

In order to obtain the results of the optimization model, the Gurobi Optimizer solver is used in version 9.1.1. This software was used for its high capacity to process problems with a significant number of variables and restrictions [20]. The result of the optimization model was subjected to verification and validation processes. The first process verified that the data used was correct and that the model was created correctly using the Gurobi solver, while the second was carried out using a historical reference that indicates the value in sales in one month. In this way, it was sought to determine if the data provided by the optimization model were correct and close to reality [7].

The restrictions on the amount of type of fabric available and the manufacturing time were examined to complement the analysis of the optimal solution for each of the proposed scenarios [7]. In addition, the shadow prices known in turn as dual prices were



identified, which correspond to the value of the marginal rates of variation of the value of the objective function, in this case being the mixture before the unit variations of the right side of the restrictions and how these parameters can be modified; in this way, the solution found remains optimal [20].

2.2 Case Study

The case study or textile company focuses its activities mainly on the production of lingerie for the home, earns less than \$ 100,000 and its staff ranges from 1 to 9 people according to data provided by the financial department of the textile company, therefore is considered an MSMEs. This company seeks to implement sustainable management models to optimize its performance in the manufacture of garments through production plans that involve increasing profits and maximizing garments to be manufactured in the available work time.

2.3 Definition of the Optimization Model

When looking at the literature on optimized models in the textile industry during the last five years, it can be seen that the use of mathematical models manages to create management models for the optimization of various logistics processes such as inventory management, productivity and supply chains [9].

Linear programming emphasizes optimizing profits and reducing labor costs [8]. It should be noted that optimization models with linear programming manage to represent the specific real conditions of the production process, which allows simple changes of parameters and strategic decisions in operational management [10].

On the contrary, nonlinear mixed-integer programming models have been used to optimize production and distribution networks because they can handle many variables and constraints [11]. In addition, multi-objective programming can be used to solve the model in some instances, demonstrate its robustness, and help find a balance between the objectives associated with the supply [22].

From the revised optimization models, it has been decided to implement a multi-objective or multi-criteria linear optimization model, whose primary purpose is to provide a solution that satisfies multiple objectives and does not focus on a single function to optimize. This approach handles the objective functions as restrictions and uses a system of goal variables to optimize the objective function [12]. To solve this multi-objective optimization model, two approaches were taken into account to specify the multiple functions [13].

The first approach is combined, as seen in **Fig. 2**, where the user defines the weights for each objective function. These weights are then used to combine the objectives into a single objective function [14].

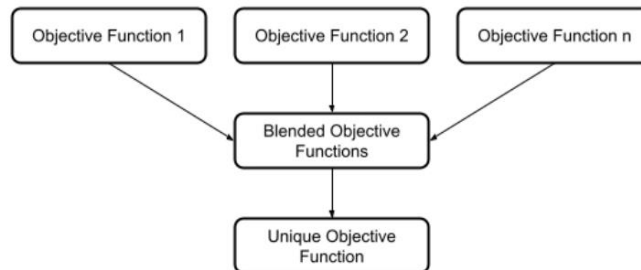


Fig. 2. Multi-objective blended optimization approach.

The second approach is hierarchical, as seen in Fig. 3, in which each objective function is assigned a priority and optimized in descending order of this priority [14].

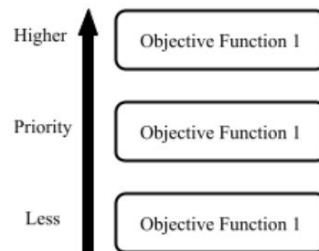


Fig. 3. Multi-objective hierarchical optimization approach.

A mixed approach with weights was used to solve the profit and production time problem that occurs in the textile company. In this way, the weights of each objective function can be defined, giving higher priority to greater profit or maximizing the number of garments to be made in the available production time as desired.

2.4 Assumptions of the Optimization Model

A linear optimization model can make use of static values, as well as variables in time [23]. For the construction of the multi-objective linear optimization model with a mixed approach with weights for this project, the reader must bear in mind that static values are used, in this way the following six conditions or assumptions were considered to create said optimization model.

6

First, a garment can make use of a maximum of two different types of cloth types. Second, the production costs of textile products consider the direct costs of labor and raw materials. Third, to calculate available working hours, working days are multiplied by working hours per day, from Monday to Friday, for eight working hours per day for four weeks, giving a total of 160 hours available. Fourth, all garments are processed through the same manufacturing machines. Fifth, the workers in charge of the garment area receive a fixed salary and are not based on the hours of the employed workers. Finally, sixth, all the textile products that the optimization model yields are sold or traded.

2.5 Definition of Variables and Optimization Parameters

Table 1 indicates the indices, parameters and variables to be used for the construction of the multi-objective linear optimization model and a description of them.

Table 1. Definition of variables and parameters for the creation of the multi-objective linear optimization model.

Type	Name	Description
Indices	j	It belongs to the name of the products to be made.
	i	It belongs to the type of fabric available for making the products.
Parameters	person_hours	Indicates available working hours, pays attention to multiplying the working days by working hours per day.
	num_workers	Number of workers focused on production.
	assembly_time	Total sum of the assembly time of the product on the machine.
	product_time	Time to make a product j.
	num_meters j i	Number of meters of cloth type i used to make the product j.
	existing_quantity i	Quantity of product j in inventory.
	cost j	Cost of product j.
	price j	Product price j.
Variables	X j	Quantity of textile products j to be made.

2.6 Definition of Objective Functions and Restrictions

The multi-objective linear optimization model to be developed determines a production plan where the objective function (1) referring to increasing profit obtains a higher priority with respect to the second objective function (2), the priority values assigned to each objective function are according to the importance indicated by the textile company.



The first objective function (1) refers to maximizing net profit in a month. Where, the value added tax (VAT) is subtracted from the product price to create this objective function; the cost of production includes manufacturing values such as the cost of raw materials, basic services, and payment to employees. In this way, the net benefit of a product is found.

$$\max \left(\sum_j \left(price_j - \left(price_j * \frac{12}{100} \right) - cost_j \right) * X_j \right) \quad (1) \quad j \in Textile\ products$$

The second objective function (2) maximizes the products to be manufactured in the available monthly labor time. This objective function seeks to make the most of the time available to the garment staff. This is because workers are paid for a fixed time and not for hours worked or garments.

$$\max \left(\sum_j (product_time_j * X_j) \right) \quad (2) \quad j \in Textile\ products$$

A total of four conditions are handled to which the optimization model is subject.

1. A constraint was created based on the historical data from the case study. Thus, the optimization model was intended to be faithful to the reality of the studied case.(3)

$$\sum_j (price_j * X_j) \leq monthy_value \quad (3) \quad j \in Textile\ products$$

2. Hours of work available according to the number of workers.(4)

$$\sum_j ((product_time_j + assembly_time)X_j) \leq person_hours * num_workers \quad (4) \quad j \in Textile\ products$$

3. Number of cloth types available for each product.(5)

8

$$\sum_i \sum_j (\text{num_meters}_{s_{ij}} * X_j \leq \text{existing_quantity}_i) \quad (5) \quad j \in \text{Textile products}$$

4. No negativity.(6)

$$X_j \geq 0 \quad (6) \quad j \in \text{Textile products}$$

3 Results and Discussion

The textile company for this project, through its administrative department, has sent a total of 34 documents related to sales reports, suppliers, purchases, costs and expenses. These data have been categorized into: products, machine times, discounts and type of cloth present in inventory.

The multi-objective linear optimization model with a mixture approach is tested with the data set proposed by the textile company, the resulting model has a total of 81 products or variables, fourteen restrictions and two objective functions. The optimization time with the Gurobi solver was 0.06 seconds, for the calculation of this value the model was executed within the solver a total of 30 times to obtain the average.

Bertsiminas and Stellato, in their work "Online Mixed-Integer Optimization in Milliseconds" published on March 24, 2021, carried out a comparison of the execution times of the Gurobi solver with different numbers of constraints and decision variables; the time measured by Bertsiminas and Stellato results in 1,633 seconds with 538 variables and 1,257 restrictions, this time being the highest, for the shortest time recorded there is a total of 88 variables and 207 restrictions where the time to solve is 0.009 seconds[24].

Taking these values as a reference and sticking to the lowest value obtained by Bertsiminas and Stellato since the data are similar to ours due to a difference of 7 decision variables and 193 restrictions, it is observed that the time difference to solve the model is 0.051 seconds. Based on the highest value obtained by Bertsiminas and Stellato, which does not exceed 2 seconds, we can say that the execution time obtained is within the expected times.

Based on the verification, the data set used for the optimization model was provided by the textile company, the records and their values were obtained from its accounting department, resulting in data verified by the textile company itself. The validation of the results delivered by the optimization model was based on the reference of its historical values in terms of the money obtained in sales in a given month. For a better interpretation, the historical sales references were handled in three scenarios, optimal, appalling and normal for the year 2019.

The historical sales registered for the year 2019 indicate that the maximum value is \$ 40611 corresponding to the month of December, this value and month will be considered as the optimal scenario. In the month of September, the textile company records sales of \$ 4188, this value being the smallest within the sales data set, therefore this

month is considered an appalling scenario. Finally, it is considered that the value of \$ 9472 for the month of august is considered normal since the 3-month sales have a difference of less than \$ 250, with the value of august being the closest to the average made for the 3 months with a difference from \$ 20.

Based on the results obtained when applying the optimization model(see **Table 2**), it is observed that the model adheres to the real values of the case study in two of the three scenarios, optimal and worst, giving a difference of less than \$ 12 in their results. This difference results in the model adhering to the reality of the textile company in the case study. However, for the optimal scenario, the result differs from the historical value by a value of \$ 28511.08.

Table 2. Comparison of the net profit value between the historical values and the linear optimization model.

Stage	Month	Sale (Historical)	Optimization Model (Sale)
Optimum	December	\$ 40611	\$ 12099.92
Appalling	September	\$ 4188	\$ 4184.46
Normal	August	\$ 9472	\$ 9460.50

Based on the results obtained with the optimization model, it was found that the production program obtained for an optimal scenario (see **Table 3**) results in a value of \$ 12099.92. Assuming that the case study sells all products in December, labor and administrative costs and basic services were removed from the total sale. This results in a net profit of \$ 1355.98, with product 34 and product 79 being the products indicated for the production plan for the specified month.

Table 3. Results of the optimization model in an optimal scenario.

Product Name	Quantity	Price	Total sale	Net profit
Product 34	217	\$ 17.68	\$ 3,836.56	\$ 429.31
Product 79	476	\$ 17.36	\$ 8,263.36	\$ 926.67

The results present in **Table 3** indicate that a greater profit is obtained by selling a greater quantity of product 79 at a lower price; a greater quantity of product 79 is recommended since the manufacturing time of 34.50 minutes is less compared to product 34 with a time of 43.48 minutes, this gives way to make better use of the available manufacturing time to create the largest quantity of products, and being linked under the assumption that all the articles produced are marketed within a month, the objective function of increasing their net profits and taking advantage of the available production time is fulfilled.

For the normal scenario (see **Table 4**), the result was that the case study obtained a total sale of \$ 9460.50, assuming that the textile company sells all the products within august. Of the total sale value, payments for labor, administrative costs, and basic services must be canceled, resulting in a value of \$ 1057.68 as net profit. In this scenario, the resulting production plan suggests that fewer products should be sold at a high price.

**Table 4.** Results of the optimization model in a normal scenario.

Product Name	Quantity	Price	Total sale	Net profit
Product 66	386	\$ 11.16	\$ 4307.76	\$ 482.80
Product 80	314	\$ 16.41	\$ 5152.74	\$ 574.87

In the appalling scenario, the resulting production plan suggests that only one product should be put up for sale, product 53, the quantity to be made according to the results is 574 units at an individual price of \$ 7.29 giving a sale per month of \$ 4184.46 and a net profit of \$ 467.92. The result of a single product responds to the fact that the production plan suggests making the product with the lowest costs.

3.1 Sensitivity Analysis

From the results obtained in the sensitivity analysis for the optimal scenario (**Table 5**), it is observed that cloth type 1 and cloth type 3 used to implement the production plan suggested by the optimization model had a residue of 4721.62, and 0 meters(m) of cloth type respectively. Of the two restrictions, it can be mentioned that for cloth type 1, its use can be reduced by up to 146 meters. For cloth type 3, there should be maximum use of 1585.45 meters of cloth type.

Table 5. Sensitivity analysis of the right side for the type of fabric available in an optimal scenario.

Restriction	Right side value	Upper range	Lower range	Slack	Dual
Cloth type 1	4,867.62 m	Infinito	146	4,721.62	0.0
Cloth type 2	1,461.63 m	Infinito	0.0	1,461.63	0.0
Cloth type 3	1,101.00 m	1,585.45	0.0	0.00	0.69
Cloth type 4	246.15 m	Infinito	0.0	246.15	0.0
Cloth type 5	142.10 m	Infinito	0.0	142.10	0.0
Cloth type 6	255.52 m	Infinito	0.0	255.52	0.0
Cloth type 7	1,253.55 m	Infinito	0.0	1,253.55	0.0
Cloth type 8	116.76 m	Infinito	0.0	116.76	0.0
Cloth type 9	207.24 m	Infinito	0.0	207.24	0.0
Cloth type 10	290.00 m	Infinito	0.0	290.00	0.0
Cloth type 11	89.27 m	Infinito	0.0	89.27	0.0
Cloth type 12	104.50 m	Infinito	0.0	104.50	0.0

For **Table 5**, cloth type 3 is completely consumed, that is, all the products that could be made with cloth type 3 were manufactured, which leads to this type of cloth having a greater impact within the optimal scenario; 0.69 meters of extra cloth must be added to increase the manufacture of a single product with this type of material. The rest of



the cloth type resources remain with a dual value of 0, that is, they have not been taken into account for the manufacture of products since these products have not been considered.

From the results obtained for the normal and appalling scenarios, it was observed that both cases used the same type of cloth, being the cloth type 1 and the cloth type 3, in equal measure. This differs from the optimal scenario where the same type of cloth was used but in different values. This indicates that the same type of cloth was still used. However, the resulting products were different, as seen in **Table 3**, and **Table 4**.

Table 6. Sensitivity analysis of the right side for the type of fabric available in an appalling scenario.

Restriction	Right side value	Upper range	Lower range	Slack	Dual
Cloth type 1	4867.62 m	Infinite	162.35	4705.27	0.0
Cloth type 2	1461.63 m	Infinite	0.0	1461.63	0.0
Cloth type 3	1101.00 m	Infinite	726.11	374.88	0.0
Cloth type 4	246.15 m	Infinite	0.0	246.15	0.0
Cloth type 5	142.10 m	Infinite	0.0	142.10	0.0
Cloth type 6	255.52 m	Infinite	0.0	255.52	0.0
Cloth type 7	1253.55 m	Infinite	0.0	1253.55	0.0
Cloth type 8	116.76 m	Infinite	0.0	116.76	0.0
Cloth type 9	207.24 m	Infinite	0.0	207.24	0.0
Cloth type 10	290.00 m	Infinite	0.0	290.00	0.0
Cloth type 11	89.27 m	Infinite	0.0	89.27	0.0
Cloth type 12	104.50 m	Infinite	0.0	104.50	0.0

Table 7. Sensitivity analysis of the right side for the type of fabric available in a normal scenario.

Restriction	Right side value	Upper range	Lower range	Slack	Dual
Cloth type 1	4867.62 m	Infinite	162.35	4705.27	0.0
Cloth type 2	1461.63 m	Infinite	0.0	1461.63	0.0
Cloth type 3	1101.00 m	Infinite	726.11	374.88	0.0
Cloth type 4	246.15 m	Infinite	0.0	246.15	0.0
Cloth type 5	142.10 m	Infinite	0.0	142.10	0.0
Cloth type 6	255.52 m	Infinite	0.0	255.52	0.0
Cloth type 7	1253.55 m	Infinite	0.0	1253.55	0.0
Cloth type 8	116.76 m	Infinite	0.0	116.76	0.0
Cloth type 9	207.24 m	Infinite	0.0	207.24	0.0
Cloth type 10	290.00 m	Infinite	0.0	290.00	0.0
Cloth type 11	89.27 m	Infinite	0.0	89.27	0.0

Cloth type 12	104.50 m	Infinite	0.0	104.5	0.0
---------------	----------	----------	-----	-------	-----

Table 6 and Table 7 indicate the same values, this is because the difference in profit between them is less than \$ 12; the present values indicate that the available cloth has not been fully used, being only type 1 and 3 cloth which have been used for making.

Table 5, Table 6 and Table 7 indicate that a large quantity of their cloths have not been used, this is because the model does not consider a minimum or maximum quantity of products and / or categories to be elaborated.

For the analysis of the manufacturing time constraint in Fig. 4, the constraint was always active regardless of the proposed scenario. In other words, the available fitting time was more relevant than fitting materials. [21].

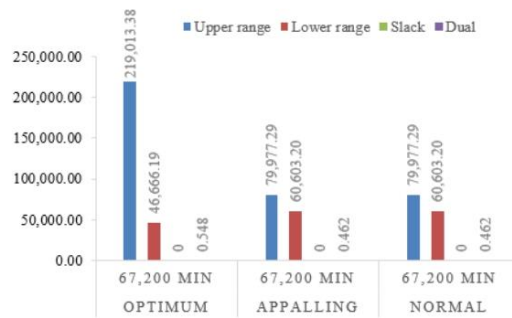


Fig. 4. Sensitivity analysis of the right side for time available.

Therefore, the 67200 minutes available for manufacturing with a total of 7 employees are fully used, for the optimal scenario 0.528 minutes should be increased to production time. Similarly, for the worst and normal scenarios, the increase is a total of 0.4662 minutes per garment.

With these values from Fig. 4 it is observed that the optimization model manages to solve the production time problem, where the case study indicates that it is required that all available production time be used. In addition, the values found by the optimization model in terms of the maximum profit, in table 3 and 4 an increase in its net profits is observed, so it can be said that the optimization model has managed to find a balance between the functions objectives.

3.2 Discussion

Therefore, the multi-objective linear optimization model suggested that the decision-maker manufacture as many products as possible of the same type and manufacture products with a minimum amount of fabric type in the excess time [17]. Furthermore, based on the results obtained by the sensitivity analysis regarding the review of the kind

of cloth available and production time restrictions, the model recommended not making use of this parameter of tailoring time and the constraint that involves it. This is because it significantly affects the production plan by reducing the type of cloth from three to two types at most [18].

Thanks to the application of the multi-objective linear optimization model with different data and the quantity based on the type of fabric available and the quantity of products to be considered for a production plan, several advantages of the same can be indicated in based on the experience and results obtained throughout this degree work.

Model adapts to the amount of fabric available for the creation of the number of constraints and to the products as the number of decision variables. Create a production plan based on finding the best performance to take advantage of available production time and maximize profits at the same time. Regardless of the data entered into the model, it will make use of all the available manufacturing time. Indicates to the administrator how to use his factors effectively, selecting and distributing them appropriately. Allows the administrator to be more objective in his decisions for the possibility of formulating the problem mathematically.

On the other hand, the method has disadvantages such as the limitations of the assumptions, especially in the total sale of all the present products in the production plan, since it is considered that everything is sold within a month without taking into account the factor human. Another clear disadvantage is that it does not have the best-selling products or categories in a given month, this leads to only considering the products with the best dispositions such as shorter preparation time and higher sales value.

4 Conclusions

The optimization model developed throughout this work allows the case study to identify strategies to improve production, increase profits and take advantage of the maximum work time available to manufacture products, resulting in a solution to the problem [15]. For this case study, the maximum net benefit is sought by increasing the production capacity by making as many products as possible, making the most of the manufacturing time [16].

The multi-objective linear optimization model with a mixed approach proposed in this internal logistics optimization project for the creation of a textile production plan in an MSMEs, obtained an optimal solution in less than a minute with a total of 81 products and 11 cloth type in two out of three scenarios, these being the optimal and worst, showing in these scenarios a significant improvement compared to the historical values of the case study. The proposed optimization model can be used for any MSMEs in the textile sector in a simple way, where the company wishes to create a production plan based on the available raw material and the working hours for the manufacture of textile products.

Within the project, the objective of creating a multi-objective linear optimization model is achieved, which generates a production plan to represent real conditions or internal logistics scenarios focused on textile production. The resulting optimization model includes textile products as decision variables. Furthermore, the restrictions were configured based on the type of fabric available, giving 11 constraints for the dataset proposed by the case study and a restriction that indicates the time of manufacturing

available, giving a total of 12 constraints. Finally, the objective functions are represented by two approaches, the first based on profit and the second making the largest number of products in the given production time.

Finally, if the presented optimization model is considered, intangible factors must be considered, such as human behavior that can be crucial for making a final decision. This factor can influence positively or negatively within the sector in which the model is applied. This current model was developed under fixed values and assumptions that do not consider the human factor as preferences in the type of garment [5].

References

1. Ron, R.; Sacoto, V.: Las PYMES ecuatorianas: su impacto en el empleo como contribución del PIB PYMES al PIB total. *Revista Espacios* 38(53), 15 (2017).
2. Gonzalez Litman, T.: La industria textil ecuatoriana cae en 2020 y ve en la bioseguridad una oportunidad de crecimiento - Noticias: industria (#1270348), <https://pe.fashionnetwork.com/news/La-industria-textil-ecuatoriana-cae-en-2020-y-ve-en-la-bioseguridad-una-oportunidad-de-crecimiento,1270348.html>
3. Primicias: El sector textil ecuatoriano ve crecimiento en cinco mercados, <https://www.primicias.ec/noticias/economia/textil-ecuador-oportunidades-crecimiento-mercados-ecuador/>
4. Winston, W.L.: *Operations Research: Applications and Algorithms*. Duxbury Press, Belmont, CA (2003)
5. Stinkl, E.P.E., Pohlhammer, J.O.M.: *Modelo de optimización de la logística de distribución de una empresa de alimentación*, (2002)
6. Hillier, F.S.: *Introduction to Operations Research with Access Card for Premium Content*. McGraw-Hill Education (2014)
7. Campo, E.A., Cano, J.A., Gómez-Montoya, R.A.: Optimización de costos de producción agregada en empresas del sector textil. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. 28, 461–475 (2020). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000300461>
8. Caguana Caguana, P.A.: *Cálculo para maximizar las ganancias de la fábrica de muebles el Artesano SA*, <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12962>, (2018)
9. Alcazar Moran, G.P.: *Modelo de gestión para la optimización de los procesos de contratación de personal en las empresas familiares del sector textil en la ciudad de Guayaquil*, (2019)
10. Guerra Rubio, B.G., Gutiérrez Salamanca, L.S., López García, D., Sánchez Urriago, D.: *Diseño de un sistema de producción y operaciones aplicado a una empresa de confección de chaquetas para dama, mediante el uso de modelos matemáticos*, <http://hdl.handle.net/10656/5305>, (2017)
11. Zhang, L.: *Dynamic Optimization Model For Garment Dual Channel Supply Chain Network: A Simulation Study*. *Int k simul model*. 14, 697–709 (2015). [https://doi.org/10.2507/IJSIMM14\(4\)CO16](https://doi.org/10.2507/IJSIMM14(4)CO16)
12. Cortés, M., Miranda, R., Sánchez, T., Curbeira, D.: *Aplicaciones de la Modelación Matemática a la Administración y la Economía*. Universidad Autónoma del Carmen. Mérida. México. (2005)
13. Espinoza, D.: *Que hay de nuevo en Gurobi 7.0*, <https://www.gurobi.com/pdfs/webinars/gurobi-7.0-webinar-slides-es.pdf> (2018)
14. *Gurobi Optimization: Mixed-Integer Programming (MIP) - A Primer on the Basics*, <https://www.gurobi.com/resource/mip-basics/>



15. Barba-Romero, S., Pomerol, J.-C.: Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica. Universidad de Alcalá, Servicio de Publicaciones (1997)
16. Cárdenas, M.V., Niño, L., Camacho, A.P., Castrillón, N.S.: Modelos de optimización para la minimización de desperdicios industriales: una aplicación. *Investigaciones Aplicadas*. 4, 34–41 (2010)
17. Romero, C.: *Análisis de las decisiones multicriterio*. Isdefe Madrid (1996)
18. Ortiz Barrios, M.A.O.: Teoría de restricciones y modelación PL como herramientas de decisión estratégica para el incremento de la productividad en la línea de toallas de una compañía del sector textil y de confecciones. *Prospectiva*. 11, 21–29 (2013)
19. Asamblea Nacional del Ecuador.: *Ley Orgánica de Régimen Tributario Interno*, Ecuador. Publisher ,Ecuador (2018).
20. Diwekar, U.: *Introduction to applied optimization*. Springer Nature 22, 22(2020).
21. Ait-Alla, A., Teucke, M., Lütjen, M., Beheshti-Kashi, S., Karimi, H. R.: Robust Production Planning in Fashion Apparel Industry under Demand Uncertainty via Conditional Value at Risk. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 901861. <https://doi.org/10.1155/2014/901861>
22. Hashim, M., Nazam, M., Yao, L., Baig, S. A., Abrar, M., Zia-ur-Rehman, M.: Application of multi-objective optimization based on genetic algorithm for sustainable strategic supplier selection under fuzzy environment. *Journal of Industrial Engineering and Management* 10(2), 188-212. (2017).
23. Loucks, P., Van Beek, E.: *Water Resource Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models, and Applications*. Springer International Publishing , 93-177.(2017).
24. Bertsimas, D. Stellato, B.: *Online Mixed-Integer Optimization in Milliseconds*. Princeton Institute for Computational Science and Engineering. (2021)



Anexo 3: Manual de Usuario del modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística interna enfocado a la optimización de la producción y maximización de las ganancias de las MIPYMES textiles en el cantón Cuenca.

Modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística interna enfocado a la optimización de la producción y maximización de las ganancias de las MIPYMES textiles en el cantón Cuenca.

Manual de Usuario

Versión: 1.0

Fecha: 01 de octubre del 2020



Contenido

Descripción del Documento	99
Propósito.....	99
Alcance	99
Funcionalidad	99
Navegación.....	99
Ventana Principal	100
Ventana de Ingreso de Datos	100
Ventana de Historial del Modelo	100
Ventana de Resultados	101
Descripción del Sistema.....	101
Ventana Principal	101
Ventana de Ingreso de Datos	102
Ventana de Selección de Archivo	102
Ventana de Historial del Modelo	103
Ventana de Resultados	104
Ventana de Contactos.....	105
Ventana Acerca de	105
Formato de Archivos/Plantilla.....	106
Archivo Productos	106
Archivo Telas	107
Pasos de Instalación	107
Programas necesarios.....	107
Librerías	108
Preguntas Frecuentes	109



Descripción del Documento

Propósito

Este documento tiene como propósito informar a las MIPYMES textiles del cantón Cuenca que harán uso del modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística interna enfocado a la optimización de la producción y maximización de las ganancias. Así mismo, este documento servirá de ayuda al mantenimiento del software de optimización.

Alcance

En este documento se describirán las funcionalidades del modelo de programación lineal multiobjetivo, las librerías necesarias para su correcto funcionamiento y las preguntas frecuentes que pueden surgir al ejecutar el modelo.

Funcionalidad

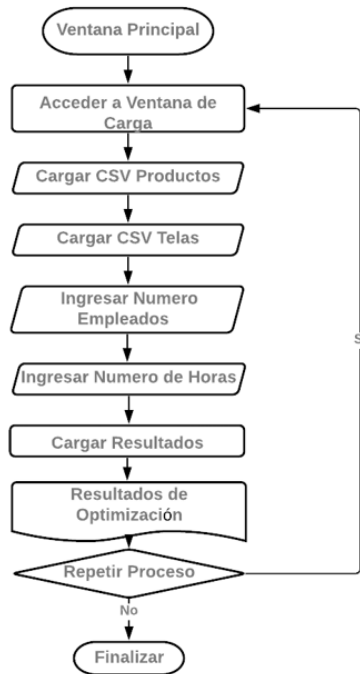
Este sistema tiene como propósito hacer uso de un modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística interna enfocándose en la optimización de la producción y maximización de las ganancias de las MIPYMES textiles en el cantón Cuenca.

Link de descarga:
https://drive.google.com/drive/folders/1To_GBd9FiNHMhzM7zPUZoVXc4KfDeR5?usp=sharing .

Mapa del sistema

Navegación

En esta sección se presenta de forma breve la navegación que debe seguir el usuario por cada ventana del sistema de manera ordenada. En la siguiente figura se describe cada paso que sigue un usuario desde que inicia la aplicación hasta que obtiene los resultados de la optimización.



En la sección de Descripción del Sistema se presentan las pantallas de estas páginas, así como la explicación de cada uno de sus elementos y secciones

Ventana principal

En esta ventana el usuario observará los logos de las de las filiales del proyecto de titulación como es IMAGINE, la Universidad de Cuenca y uno de los casos de estudio.

El usuario da clic sobre el botón “Optimización de Ganancias Max. Beneficio”, lo cual dará el acceso a la siguiente ventana para el ingreso de los datos necesarios para la creación del modelo de optimización.

Ventana de ingreso de datos

En esta ventana se pide al usuario el ingreso de los datos en archivos csv necesarios para la creación del modelo de optimización lineal multiobjetivo, además de los parámetros necesarios como es el tiempo de confección disponible, y la cantidad de trabajadores destinados a la confección.

Ventana de historial del modelo

Esta ventana es netamente informativa, se indica si el tipo de tela presente en la tabla de producción coincide con las archivos de las telas, si se han eliminado registro con valores vacíos, se indica la cantidad de variables para el modelo de optimización y cuáles son, se indica las restricciones creadas así como sus funciones objetivo.

Una vez indicada toda esta información el usuario podrá dar a la opción de continuar para observar los resultados del modelo de optimización lineal multiobjetivo.

Ventana de resultados

En esta ventana se muestran los resultados de la aplicación del modelo de optimización, e indica el valor de venta total, el beneficio neto el cual sería el valor de descontar los costos de producción. El tiempo en obtener la solución, el estado del modelo de optimización, gráficos para una mejor interpretación de los resultados. Finalmente se indica una ventana resumen donde se especifica el plan de producción.

Descripción del sistema

Ventana principal

En esta ventana se encuentra el botón principal “Optimización de Ganancias Max. Beneficio” en el centro de la pantalla, el cual guiará al usuario a la pantalla para el ingreso de los datos para crear el modelo de optimización. En la parte inferior se encuentra una breve descripción del propósito del modelo de optimización. Se muestran los logos pertenecientes al proyecto. En la esquina superior izquierda se encuentra 2 accesos, el primer acceso llamado “Inicio” es un acceso que se encuentra en todo el sistema y lleva al usuario a el re-ingreso de los datos necesarios para el modelo de optimización; el acceso llamado “Acerca de...” indica al usuario 3 enlaces donde se permite contactar con los desarrolladores, descargar el manual de usuario y descargar las plantillas para la carga de los datos en formato csv.



Ventana de ingreso de datos

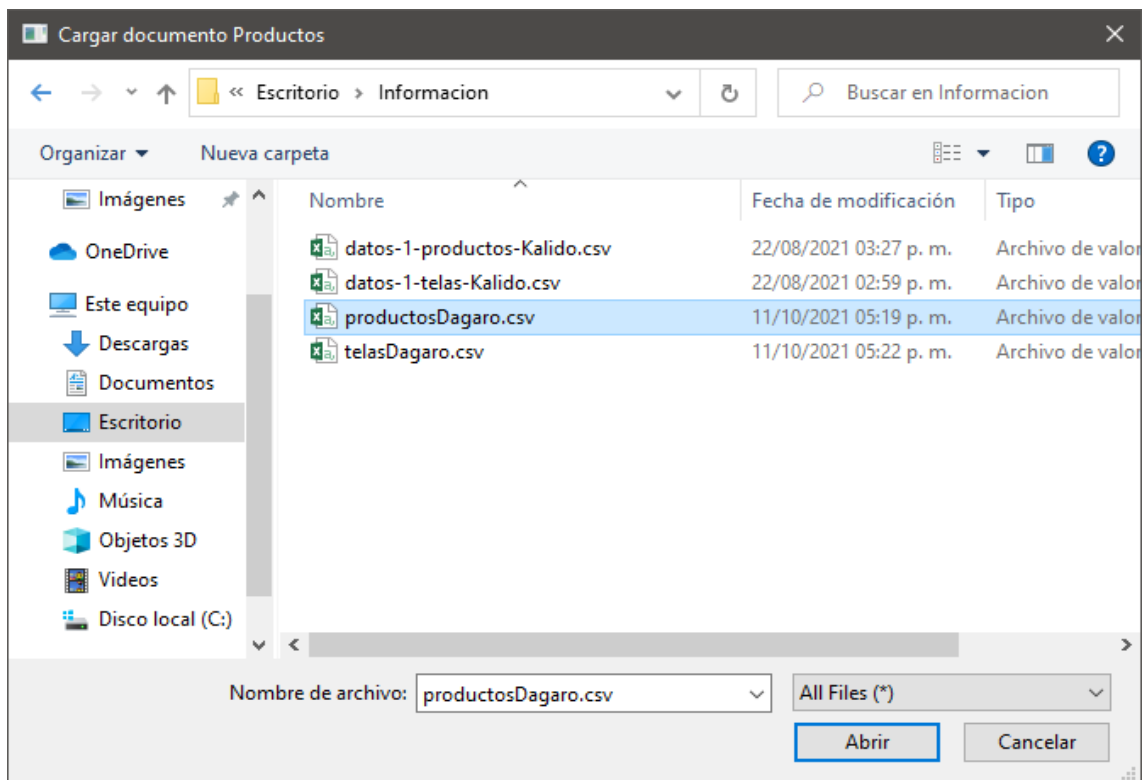
En esta ventana se ingresa todos los datos necesarios para la creación del modelo de optimización lineal multiobjetivo, en la parte superior izquierda se indican los botones de “Inicio” y “Acerca de...”. En la parte central de la ventana se muestran dos botones que permiten al usuario la carga de los archivos csv con la información tanto de los productos de la empresa textil como la cantidad de tela para la confección; debajo de cada botón se indica la dirección del archivo cargado al sistema. En la parte inferior central se encuentran 2 parámetros como es la cantidad de trabajadores disponible para la confección y las horas de trabajo disponibles de cada trabajador.

Una vez ingresado todos los datos el usuario dará paso al botón “Continuar” que llevará al usuario a una ventana donde se le indica un resumen del proceso de creación del modelo de optimización.



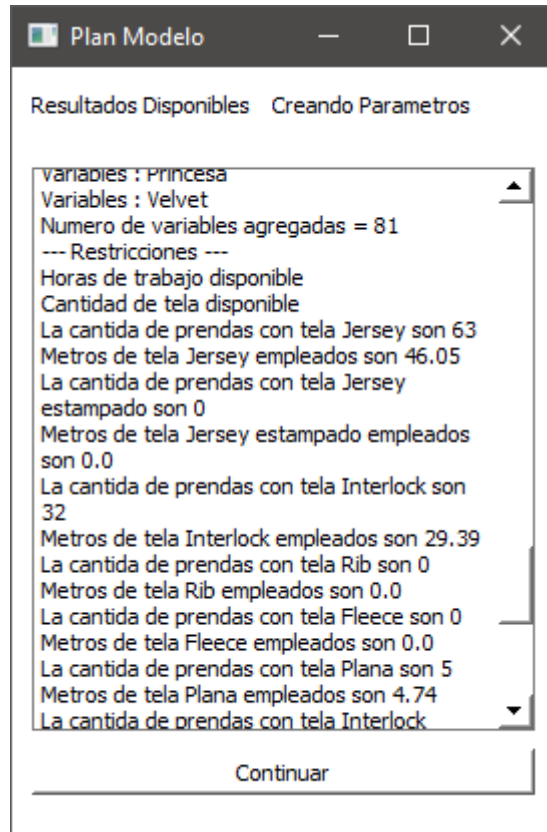
Ventana de selección de archivo

La siguiente ventana guía al usuario para la carga del archivo csv, esta ventana es similar tanto para la carga del archivo productos como de la información relacionada a las telas, cabe destacar que cambiara el nombre de la ventana indicando el archivo que se requiera. De esta manera se guía al usuario a indicar qué archivo se necesita.



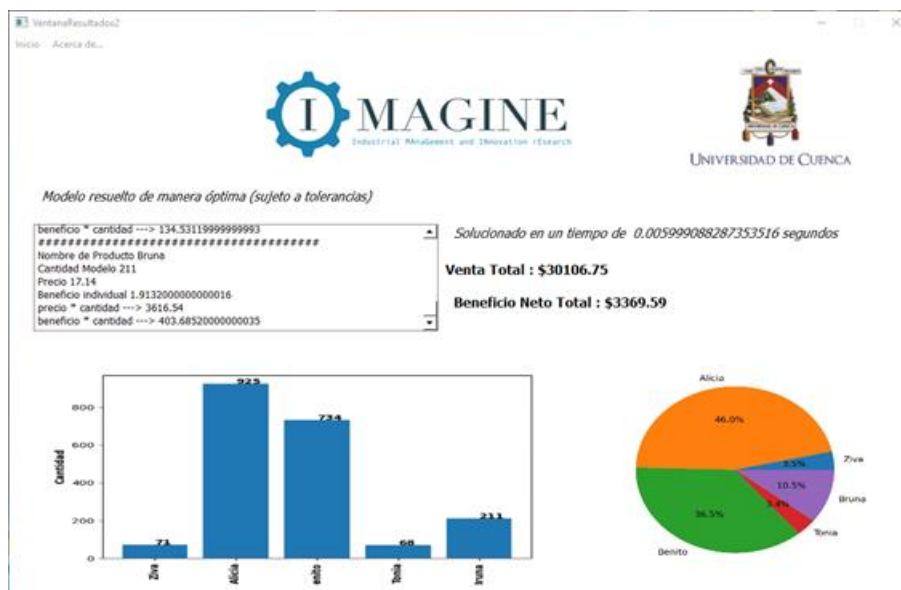
Ventana de historial del modelo

Esta ventana es más de carácter informativo, ya que indica tanto el número de variables o productos a considerar, las restricciones y todo lo relacionado para la creación del modelo de optimización.



Ventana de resultados

En esta ventana se indica un resumen con lo más relevante de los resultados de ejecutar el modelo de optimización con los datos proporcionados por la empresa textil.



Se indica en gráfico de barras el número de productos a confeccionar y en la gráfica de pastel se indica el porcentaje que ocupa cada producto. Además, se indica el valor de la venta total y la ganancia neta o beneficio después de realizar la venta. También se indica el estado del modelo y un resumen donde se indica el nombre del producto, cantidad obtenido del modelo de optimización, el precio de venta y el beneficio individual del producto así también cuánto aporta cada producto al valor de venta del plan de producción.

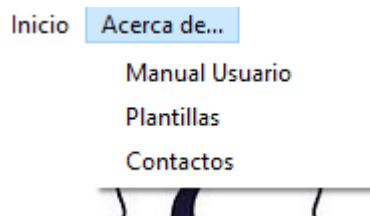
Ventana de contactos

Esta es una ventana netamente informativa la cual indica información básica con los desarrolladores y creadores de este proyecto de titulación.



Ventana "Acerca de"

Es una pestaña en cada ventana del sistema que guía al usuario a la descarga de archivos como los formatos de los csv, manual de usuario o el acceso a la ventana de contactos.





Formato de archivos/plantilla

Para la ejecución del modelo de optimización el usuario deberá cargar un conjunto de archivos en formato csv; el formato para el ingreso de los datos de los productos y las telas, lo puede descargar de los siguientes enlaces.

- Formato telas, descargable de: https://drive.google.com/file/d/1Q0MEiu5qcG_2fG8teZNnebhw8MygvQeY/view?usp=sharing
- Formato productos, descargable de: https://drive.google.com/file/d/1KLcOGkO5VfzG0Db74T7Gz_wfLQpIKhko/view?usp=sharing

Archivo productos

Este archivo se debe encontrar en formato csv, contiene toda la información principal relacionada con los productos de confección.

Nombre	Tipo de dato	Unidad	Descripción
Categoría	Texto	n/a	Indica el nombre a la cual los productos pertenecen.
Nombre_Producto	Texto	n/a	Nombre de la prenda textil a confeccionar, será tomado como variable del modelo por lo tanto el nombre del producto es único.
Costo	numérico	Dólar	Valor que se debe cancelar por la realización de cada producto, como lo es servicios básico. etc.
Precio	numérico	Dólar	Valor que el producto es comercializado
Tiempo de confección	numérico	minuto	Tiempo que demora el artesano en crear una prenda textil.
número de metros	numérico	metro	Cantidad total de metros empleados en la confección de este producto, independientemente del tipo de tela empleado.



Tipo de Tela 1	Texto	n/a	Nombre de la tela principal para la confección.
Cantidad de Tela 1	numérico	metro	Metros de tela 1 disponible para confección.
Tipo de Tela 2	Texto	n/a	Nombre de la tela secundaria para la confección.
Cantidad de Tela 2	Numérico	metro	Metros de tela 2 disponibles para confección.

Archivo telas

Archivo en formato csv, este archivo posee la información relacionada con el inventario de telas disponibles para la confección.

Nombre	Tipo de dato	Unidad	Descripción
Tipo_tela	Texto	n/a	Indica el nombre de la tela en stock para la producción, valor de dato único.
Cantidad_existente	Numérico	metro	Cantidad de metros de tela que posee la empresa textil.

Pasos de instalación

El usuario instalará en el ordenador donde se ejecute el sistema los siguientes programas en el orden en el que se les menciona.

Programas necesarios

Python, es un lenguaje de programación de alto nivel orientado principalmente para aplicaciones informáticas, además de ser muy atractivo en el campo del Desarrollo Rápido de Aplicaciones (RAD) porque ofrece tipificación dinámica y opciones de encuadernación dinámicas; lo que reduce el costo de mantenimiento.

Para este proyecto se hace uso de la versión 3.9.4, se puede descargar el instalador de Python desde el sitio oficial <https://www.python.org/downloads/release/python-394/>



Gurobi Optimizer, es un solucionador de última generación para programación matemática, que resuelve problemas de programación lineal y de enteros mixtos.

Puede descargar la versión de Gurobi desde el siguiente enlace <https://www.gurobi.com/downloads/>

Una vez instalado los programas anteriores, siguiendo las instrucciones que se indican en cada página, se procede a ejecutar o instalar las siguientes librerías, el orden de instalación puede variar.

Librerías

Las siguientes librerías son necesarias para el correcto funcionamiento de la aplicación, las librerías que se detallan a continuación funcionan bajo el lenguaje de programación de Python en su versión 3.x.

Librería	Descripción
OpenCV	Encargada de presentar las gráficas de resultados en la interfaz.
Matplotlib	Para la creación de la gráfica de barras y pasteles.
Pandas	Herramienta usada para el análisis de datos y el manejo de archivos CSV como dataframe.
PyQt5	Librería empleada para el correcto funcionamiento de la interfaz gráfica.
webBbrowser	Abrir enlaces externos en el navegador
time	indica el tiempo del sistema
numpy	Soporte para crear vectores y matrices grandes multidimensionales
gurobipy	Gurobi Optimizer es una biblioteca de software de optimización matemática para resolver problemas de optimización lineal y cuadrática de enteros mixtos para emplearlos junto al lenguaje Python.

Para un mayor beneficio al usuario se crea un script para que todas las librerías mencionadas anteriormente sean instaladas, de esta manera evitar la instalación de forma manual una a una. Cabe mencionar que se debe tener instalado Python previamente. En el siguiente link se dará acceso al archivo: https://drive.google.com/file/d/1s4DRe3vjctyR97EclBvUn9pxrrxTp2_A/view?usp=sharing .

Preguntas frecuentes

¿Cómo descargar e instalar Python?

Se recomienda visitar la página oficial de Python y seguir los pasos que se indican, tener en cuenta que se recomienda la versión 3.4 o superior.

¿Cómo descargar e instalar Gurobi-solver?

Se recomienda visitar la página oficial de Gurobi Optimizer la cual después de crear un usuario permite obtener licencias del solver para aplicar en una pc.

¿Cómo descargar e instalar las librerías necesarias?

Se recomienda descargar el archivo del link en la sección de “librerías”, una vez descargado seguir los siguientes pasos:

1 Mediante la consola de comandos ingresar al lugar o directorio donde se ubique el script descargado, se debe tener instalado Python previamente en su versión 3.4 o superior.

```

C:\> Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.19042.1288]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\usuario>cd C:\Users\usuario\Desktop

C:\Users\usuario\Desktop> python script_librerias_multi-objetivo.py

```

2 Una vez seleccionado el archivo ingresar “python” seguido del archivo descargado, esto descargara e instalar las librerías necesarias como se muestra en la figura inferior.

```

#####
Instalando Libreria NUMPY
#####
WARNING: pip is being invoked by an old script wrapper. This will fail in a future version of pip
Please see https://github.com/pypa/pip/issues/5599 for advice on fixing the underlying issue.
To avoid this problem you can invoke Python with '-m pip' instead of running pip directly.
Requirement already satisfied: opencv-python in c:\python39\lib\site-packages (4.5.3.56)
Requirement already satisfied: numpy>=1.19.3 in c:\python39\lib\site-packages (from opencv-python)
WARNING: You are using pip version 20.2.3; however, version 21.3.1 is available.
You should consider upgrading via the 'C:\Python39\python.exe -m pip install --upgrade pip' command
#####
Instalando Libreria OPENCV
#####

```

¿Se puede ingresar otro formato de archivo?

No, porque el archivo es separado por comas (CSV).



¿Qué sucede si se modifica el nombre de las columnas de las plantillas?

El programa dará un error de que no se encuentra la columna o atributo, lo que dará paso a que no se cree el modelo de optimización solicitara el re-ingreso de datos de forma correcta.

¿Existe un límite de registros en los archivos csv?

No, pero cabe destacar que a mayor número de registros el tiempo de ejecución para obtener una respuesta o plan de producción se elevará.