

República Dominicana
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
Universidad Patrimonio de la Comunidad



Facultad de Postgrado y Educación Continuada
Departamento de Postgrado

Trabajo de Postgrado para Optar por el Título de
Maestría en Matemáticas.

Título

Modelos de optimización para la planificación de la producción en una empresa
manufacturera de ropa deportiva

Sustentante

Wilmer Marino Núñez Acosta

Asesor

MA. Wilson Lucilo Heredia Amparo

Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez

Año académico, 2024.

TÍTULO

MODELOS DE OPTIMIZACIÓN PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA DE ROPA
DEPORTIVA

Declaración de Autoría

Yo, Wilmer Marino Núñez Acosta, declaro que este trabajo titulado “Modelos de optimización para la planificación de la producción en una empresa manufacturera de ropa deportiva” y presentado como requisito para la obtención del grado de Maestría en Matemáticas en nombre de la Universidad Tecnológica Del Cibao Oriental (UTE-CO), es de mi autoría y ha sido desarrollado bajo la supervisión del profesor MA. Wilson Lucilo Heredia Amparo. Todas las fuentes utilizadas han sido debidamente citadas y referenciadas. Además, declaro que este trabajo no ha sido presentado previamente para ningún otro título académico.

Composición del tribunal evaluador

Jesús Manuel Viloría

Jurado

Julio Manzueta

Jurado

José Miguel Gómez

Jurado

Lic. Yuderka Reyes

Directora de postgrado

CALIFICACIÓN FINAL:_____

Índice general

Declaración de autoría	III
Agradecimientos	V
Dedicatorias	VI
Resumen	VII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1. Antecedentes históricos	1
1.1.2. Antecedentes académicos	2
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. Alcance y límites	7
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL	8
2.1. Problema de optimización	8
2.1.1. Variables	8
2.1.2. Función objetivo	8
2.1.3. Restricciones	9
2.1.4. Sistemas de ecuaciones lineales - no lineales	9
2.1.5. Optimización sin restricciones	10
2.1.6. Optimización multiobjetivo	10
2.2. Métodos de optimización	10
2.3. Modelos de optimización	11
2.4. Etapas en el desarrollo de un modelo	13
2.4.1. Identificación del problema	13
2.4.2. Especificación matemática y formulación	13
2.4.3. Resolución	15

2.4.4. Verificación, validación y refinamiento	15
2.4.5. Interpretación y análisis de los resultados	15
2.4.6. Implantación, documentación y mantenimiento	16
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	17
3.1. Marco metodológico	17
3.1.1. Diseño de la investigación	17
3.1.2. Tipo de investigación	17
3.1.3. Método de la investigación	17
3.1.4. Enfoque de investigación	18
3.1.5. Procedimientos	18
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	19
4.1. Introducción	19
4.2. Modelos matemáticos que permite optimizar la asignación de recursos, la programación de actividades y la gestión de inventarios en la producción de ropa deportiva	19
4.3. Modelos de optimización en un sistema informático adecuado, que permita su aplicación práctica y seguimiento en tiempo real	27
4.4. Evaluar y medir los resultados obtenidos	34
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	36
5.1. Introducción	36
5.2. Conclusiones	36
5.3. Líneas futuras de investigación	38
Referencias	39
Anexos	I
Anexo A. Cronograma	II
Anexos B. Presupuesto	II
Anexos C. Variables en Python	III
Anexos D. Modelo de Programación Lineal	IV

Agradecimientos

Al Padre Celestial, gracias por darme la vida, salud y la oportunidad para alcanzar mi anhelada meta. Infinitas gracias por acompañarme en el recorrido para superar cada una de las dificultades encontradas y guiarme hacia el camino correcto.

A mi familia, gracias a ustedes por el constante apoyo emocional y por alentarme a seguir adelante, incluso en los momentos de mayor dificultad. Su apoyo incondicional fue de fuente de inspiración en este proceso.

A la Universidad Tecnológica del Cibao Orienta (UTECO), por abrirme sus puertas para que pueda continuar obteniendo conocimientos y seguir por el sendero del saber. Gracias por permitirme recorrer cada uno de tus pasillos y vivir momentos inolvidables en tus aulas.

Al coordinador de la maestría MA. Manuel Arismendy Batista, por su gran apoyo en todas las ocasiones que acudí a él.

Al asesor MA. Wilson Lucilo Heredia Amparo, por su entrega y dedicación para poder realizar un trabajo digno, guiándome y aportando ideas para poder lograr mi anhelada meta. A los profesores, gracias por siempre estar pendiente de mí ofreciéndome sus conocimientos académicos con dedicación y empeño, brindándome sus sabios consejos.

Wilmer Marino Núñez Acosta

Dedicatorias

A mis queridos padres María Fiordaliza Acosta y Nicolás Marino Núñez, quienes han sido mi mayor apoyo y guía a lo largo de toda mi vida. Su amor incondicional y dedicación han sido la fuerza que me ha impulsado hasta llegar a este momento. Gracias por siempre creer en mí y por motivarme a seguir adelante.

A los hermanos Joel Núñez y Joely Núñez, quienes han sido mis compañeros de vida, han estado a mi lado en los buenos y malos momentos, brindándome su apoyo incondicional. Su ánimo por verme crecer ha sido impulso para dar siempre lo mejor de mí y nunca rendirme.

Juan Zoilo Acosta y Ana Del Carmen Peralta, por ser importante en mi vida, por ser ese ejemplo para seguir, quienes con sus consejos y experiencias me mostraron la verdadera existencia de la vida llevada con respeto y dedicación, les quiero abuelos.

A todos seres queridos que sin importar el vínculo que tengamos han sido parte fundamental en mi vida. A mis tíos, primos, compañeros de trabajo y amigos cercanos, quienes han estado ahí para motivarme y brindarme apoyo de manera incondicional de una manera u otra. Esta tesis no sólo es resultado de mi esfuerzo sino, también de su colaboración y ayuda.

A los colegas Carola Gómez, Yoemily Rodríguez, Diosmery Castro, Solenny Espinal, Yadiri Mosquea, Ronaldo Rodríguez y Yulenny Santos, gracias por brindarme su apoyo, y motivarme durante este recorrido a dar lo mejor de mí, por estar en las buenas y en las malas.

A cada uno de ustedes les dedico esta tesis, como un reconocimiento a su importancia en mi vida, cada paso que he dado en este camino ha sido motivado por el deseo de hacerlos sentir orgullosos, de premiar de alguna manera todo lo que han hecho por mí.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
**Modelos de optimización para la planificación de la producción en una
empresa manufacturera de ropa deportiva**

Wilmer Núñez

Sustentante

MA. Wilson Heredia

Asesor

RESUMEN

Esta investigación se centra en el desarrollo de modelos de optimización para la planificación de la producción en una empresa manufacturera de ropa deportiva. El objetivo general es desarrollar un modelo que optimice la asignación de recursos, la programación de actividades y la gestión de inventarios en la producción de prendas deportivas. Los objetivos específicos incluyen la creación de modelos matemáticos, su implementación en un sistema informático y la evaluación de resultados para establecer mejoras continuas.

La metodología adoptada es de diseño no experimental, con un enfoque exploratorio-explicativo. Se utiliza un método analítico-deductivo y un enfoque cualitativo, con procedimientos que incluyen la revisión de literatura, el análisis de contenido y la verificación de objetivos.

Los resultados presentan un modelo de programación lineal implementado en Python con la biblioteca PuLP. Se optimizó la asignación de recursos y la gestión de inventarios, demostrando la eficacia del enfoque propuesto. La evaluación de resultados revela mejoras significativas en eficiencia y reducción de costos.

Palabras clave: Modelos de optimización. Planificación de la producción. Empresa manufacturera. Ropa deportiva. Diseño de modelos matemáticos. Implementación en sistema informático. Seguimiento en tiempo real. Evaluación de resultados.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan los antecedentes históricos, donde se exponen el origen y evolución de los modelos de optimización para la planificación de la producción. Seguidamente exhiben los antecedentes académicos que sirven de sustento a esta investigación. Posteriormente, se hace el planteamiento del problema, se da la justificación, se establecen los objetivos y se da el alcance y los límites de la investigación.

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes históricos

En matemáticas, estadística, ciencia empírica, informática o economía, la optimización (también conocida como optimización matemática o programación matemática) es la selección del mejor elemento (en relación con algunos criterios) de un conjunto de elementos disponibles. La Investigación de Operaciones es uno de los campos de las matemáticas en los que se basa la optimización.

Pierre de Fermat y Joseph Louis Lagrange encontraron fórmulas basadas en el cálculo para identificar valores óptimos, mientras que Isaac Newton y Carl Friedrich Gauss propusieron métodos iterativos para aproximar el óptimo.

Históricamente, el término programación lineal para referirse a ciertos problemas de optimización se debe a George B. Dantzig, aunque gran parte de la teoría había sido introducida por Leonid Kantorovich en 1939. Dantzig publicó el Algoritmo símplex en 1947 y John von Neumann desarrolló la teoría de la dualidad en el mismo año. El término programación en este contexto no se refiere a la programación de computadoras. Más bien, el término viene del uso de programa por el ejército de Estados Unidos al referirse a la propuesta de entrenamiento y planificación logística, el cual fue el problema estudiado por Dantzig en aquel entonces.

Los modelos de optimización tienen un origen histórico que se remonta a los

primeros desarrollos en matemáticas y ciencias de la computación. A lo largo del tiempo, investigadores y científicos han contribuido a su evolución, aplicándolos en diversos campos como la logística, la planificación de la producción, la gestión de inventarios y más. Los modelos de optimización continúan siendo una herramienta fundamental en la toma de decisiones y la mejora de procesos en diferentes industrias.

1.1.2. Antecedentes académicos

Caicedo et al., (2019) en su estudio sobre “Modelo matemático para la planeación de la producción en una industria metalmecánica”, determinar la combinación óptima entre la tasa de producción, la fuerza de trabajo y los inventarios, para minimizar los costos del plan agregado de producción, se concluye que se diseñó un modelo matemático de PL para la planeación agregada de la producción en una industria metalmecánica mediana, el cual se puede aplicar en las otras tres empresas adscritas al grupo empresarial, o en cualquier otra industria del sector metalmecánico que cuente con características similares de operación a la de estudio, por medio de ajustes menores al modelo que incluya las estrategias propias de planeación de producción de estas organizaciones.

Guzmán y Poler (2020) en su estudio sobre “Un análisis de revisiones de modelos y algoritmos para la optimización de planes de aprovisionamiento, producción y distribución de la cadena de suministro” de la Universitat Politècnica de València. El propósito de este artículo es analizar los diferentes modelos y algoritmos utilizados para la optimización de planes de aprovisionamiento, producción y distribución en la cadena de suministro a través de las últimas revisiones de la literatura realizadas en este campo. En el mismo se concluye que, se identificaron, consolidaron y sintetizaron los procesos de la cadena de suministro a través de modelo SCOR y los métodos y modelos planteados en las revisiones para resolver problemas de optimización, explorando temas claves, tendencias de investigación y desarrollos que se están realizando en las diferentes áreas de la cadena de suministro.

Campo, Cano y Gómez (2020) en su estudio sobre “Optimización de costos de producción agregada en empresas del sector textil” en la Revista chilena, cuyo objetivo fue desarrollar un modelo de planificación de producción agregada para generar estrategias de producción óptimas en el mediano plazo para empresas del sector textil. En la misma se concluye que a través de modelos de programación lineal como el PLAG, se logró 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. Del mismo modo, se logra respaldar el proceso de toma de decisiones a través de resultados cuantitativos para satisfacer objetivos empresariales y cumplir con restricciones intrínsecas de procesos y sectores empresariales tales como la industria textil.

En el mismo sentido, Guerrero et al., (2020) en su estudio sobre “Modelo de optimización para el cálculo de tiempos estándar en procesos de ensamblaje”. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação de la Universidad de Cuenca (Ecuador), tuvo como objetivo analizar un modelo de optimización matemática para el cálculo de tiempos estándar en procesos de ensamblaje, construido en base al ajuste de una función empleando mediciones de tiempo. Concluyen, para la parte administrativa, en los niveles estratégicos, operacional y de apoyo, la construcción de modelos con Bizagi condujo a la obtención de tiempos estándar y proporcionó un panorama claro del desarrollo de los procesos.

1.2. Planteamiento del problema

La planificación de la producción en una empresa manufacturera de ropa deportiva es un proceso complejo que requiere la asignación eficiente de recursos, la gestión adecuada de inventarios y la programación óptima de actividades. Sin embargo, muchas empresas enfrentan desafíos en este aspecto, como retrasos en la entrega de productos, altos costos operativos y baja eficiencia en los procesos. Por lo tanto, surge la necesidad de desarrollar modelos de optimización que permitan mejorar la

planificación y maximizar la eficiencia productiva.

Uno de los principales desafíos en la planificación de la producción es el manejo eficiente de los recursos disponibles. Esto implica asignar el personal adecuado, las máquinas y equipos necesarios, así como los materiales requeridos para cada etapa del proceso. Un mal uso de los recursos puede resultar en ineficiencias, tiempos muertos y costos innecesarios. Por lo tanto, es fundamental desarrollar modelos matemáticos que permitan optimizar esta asignación y garantizar el uso eficiente de los recursos.

Otro desafío clave es la gestión adecuada de inventarios. En una empresa manufacturera de ropa deportiva, mantener un equilibrio entre tener suficiente inventario para cumplir con la demanda y evitar el exceso de stock es fundamental. Un exceso de inventario puede llevar a costos de almacenamiento innecesarios, mientras que un inventario insuficiente puede resultar en retrasos en la entrega y pérdida de ventas. Los modelos de optimización pueden ayudar a determinar los niveles óptimos de inventario y a establecer políticas de reabastecimiento eficientes.

La programación de actividades es otro aspecto crítico en la planificación de la producción. Las diferentes etapas del proceso, como el corte, la confección y el acabado, deben programarse de manera óptima para minimizar los tiempos de espera y maximizar la utilización de los recursos. Los modelos de optimización pueden ayudar a secuenciar las actividades de manera eficiente, teniendo en cuenta las restricciones de capacidad y las dependencias entre las tareas.

Además, es importante considerar la variabilidad en la demanda y los posibles cambios en las condiciones del mercado. Las empresas manufactureras de ropa deportiva a menudo se enfrentan a fluctuaciones estacionales en la demanda, así como a cambios en las preferencias de los consumidores. Los modelos de optimización pueden adaptarse a estas variaciones y permitir una planificación más flexible y ágil.

En este estudio, se busca desarrollar un modelo de optimización para mejorar

la planificación de la producción manufacturera de ropa deportiva, con el fin de maximizar la eficiencia y productividad.

El modelo pretende responder ¿Cómo desarrollar un modelo de optimización para mejorar la planificación de la producción en una empresa manufacturera de ropa deportiva?

y con esta inquietud se pretender responder las siguientes preguntas específicas:

1. ¿Cómo diseñar modelos matemáticos que permitan optimizar la asignación de recursos, la programación de actividades y la gestión de inventarios en la producción de ropa deportiva?
2. ¿Cómo implementar los modelos de optimización en un sistema informático adecuado, que permita su aplicación práctica y seguimiento en tiempo real?
3. ¿Cómo evaluar y medir los resultados obtenidos a través de los modelos de optimización, comparándolos con los indicadores previos y estableciendo mejoras continuas?

1.3. Justificación

La industria de la confección de ropa deportiva en la República Dominicana desempeña un papel crucial en la economía del país, generando empleo y contribuyendo al desarrollo industrial. Sin embargo, la eficiencia en la planificación de la producción es esencial para maximizar la productividad y la competitividad. Este estudio se centra en el desarrollo de modelos de optimización para mejorar la planificación de la producción en empresas manufactureras de ropa deportiva, con el objetivo de impactar positivamente en la República Dominicana, la comunidad local, la UTECO y sus miembros.

La implementación de modelos de optimización en la planificación de la producción beneficia directamente al crecimiento económico del país al aumentar la efi-

ciencia en el sector de la confección. La mejora de la competitividad de las empresas dominicanas en el mercado global tendrá un impacto positivo en los ingresos y la creación de empleo, fortaleciendo la posición de la República Dominicana en el ámbito económico internacional.

La eficiencia en la producción no solo se traduce en beneficios económicos, sino que también impacta positivamente en la comunidad local. La generación de empleo en el sector manufacturero fortalecerá la base laboral local, proporcionando oportunidades de trabajo para los residentes. Además, la optimización de procesos contribuye a prácticas más sostenibles, reduciendo el impacto ambiental y promoviendo un desarrollo industrial más responsable.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo de optimización para la planificación de la producción en una empresa manufacturera de ropa deportiva.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Diseñar modelos matemáticos que permitan optimizar la asignación de recursos, la programación de actividades y la gestión de inventarios en la producción de ropa deportiva.
2. Implementar los modelos de optimización en un sistema informático adecuado, que permita su aplicación práctica y seguimiento en tiempo real.
3. Evaluar y medir los resultados obtenidos a través de los modelos de optimización, comparándolos con los indicadores previos y estableciendo mejoras continuas.

1.5. Alcance y límites

Esta investigación se limita al estudio de la matemática y en específico a la optimización matemática y básicamente se desarrolla un modelos de optimización para la planificación de la producción manufacturera.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

De acuerdo a lo que exponen García y Lalueza (2019), elaborar el marco teórico implica analizar y exponer aquellas teorías, enfoques teóricos y antecedentes en general que se consideren válidos para el correcto encuadre del estudio. En este capítulo se exponen un conjunto de definiciones, que sirven de soporte y referente conceptual para este trabajo.

2.1. Problema de optimización

Los problemas de optimización se componen generalmente de tres ingredientes: Variables, función objetivo y restricciones.

2.1.1. Variables

Representan las decisiones que se pueden tomar para afectar el valor de la función objetivo. Desde un punto de vista funcional se pueden clasificar en variables independientes o principales o de control y variables dependientes o auxiliares o de estado, aunque matemáticamente todas son iguales. (Cortés, Ramos y González, 2021)

En el caso de un sistema de producción son los valores de producción de los grupos compradores o empresas compradoras por lotes. En el caso de la venta, la cantidad de cada producto fabricado y vendido. En el caso de la fabricación de un producto, sus dimensiones físicas. (Águila, 2021).

2.1.2. Función objetivo

Es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar o minimizar). Como ejemplo de funciones objetivo se pueden mencionar: La minimización de los costes variables de operación de un sistema de producción, la maximización de los beneficios netos de venta de ciertos productos, la minimización del cuadrado de las desviaciones con respecto a unos valores observados,

la minimización del material utilizado en la fabricación de un producto, entre otros. (Cortez, Cruz y Margolis, 2019)

2.1.3. Restricciones

Representan el conjunto de relaciones (expresadas mediante ecuaciones e inecuaciones) que ciertas variables están obligadas a satisfacer. Por ejemplo, las potencias máxima y mínima de operación de un grupo de generación, la capacidad de producción de la fábrica para los diferentes productos y las dimensiones del material bruto del producto. (Castillo, 2019).

Resolver un problema de optimización consiste en encontrar el valor que deben tomar las variables para hacer óptima la función objetivo satisfaciendo el conjunto de restricciones. (Ruiz, 2020).

Un caso particular según Trespalacios (2021), pero muy frecuente, de variables enteras son las variables binarias (0/1), ya que permiten modelar condiciones de asignación o condiciones lógicas. Por otra parte, toda variable entera x se puede expresar como suma de variables binarias y_i , donde $x = \sum_{i=0}^N 2^i y_i$ siendo u una cota superior de x , $0 \leq x \leq u$, y estando u comprendida en el intervalo $2^N \leq u \leq 2^{N+1}$.

Existen algunos tipos de problemas de optimización que no se rigen por: Sistemas de ecuaciones lineales - no lineales, optimización sin restricciones y optimización multiobjetivo.

2.1.4. Sistemas de ecuaciones lineales - no lineales

No existe una función objetivo como tal. Únicamente interesa encontrar una solución factible a un problema con un conjunto de restricciones. (Quiñónez, 2022).

2.1.5. Optimización sin restricciones

Se trata de encontrar el conjunto de valores de las variables que determinan el mínimo/máximo de una función. Algunas de las técnicas que se ven en programación no lineal son para optimización sin restricciones. (Trespalcios, 2021).

2.1.6. Optimización multiobjetivo

Existe más de una función objetivo. El problema que se plantea es cómo tratar varias funciones objetivo a la vez, teniendo en cuenta que el óptimo para un objetivo no lo es para otro, son objetivos en conflicto entre sí. Ésta se enmarca dentro de lo que se conoce de forma más general como decisión multicriterio “multicriteria decision making MCDM”. (Ruiz, 2020).

2.2. Métodos de optimización

Los métodos de optimización los podemos clasificar en: métodos clásicos (que son los algoritmos que habitualmente se explican en los libros de optimización) y métodos metaheurísticos (que aparecieron ligados a lo que se denominó inteligencia artificial e imitan fenómenos sencillos observados en la naturaleza). Dentro de los primeros se encuentra la optimización lineal, lineal entera mixta, no lineal, estocástica y dinámica. En el segundo grupo se incluyen los algoritmos evolutivos (genéticos entre otros), el método del recocido simulado (simulated annealing), las búsquedas heurísticas (método tabú, búsqueda aleatoria, avariciosa, etc.) o los sistemas multiagente. De forma muy general y aproximada se puede decir que los métodos clásicos buscan y garantizan un óptimo local mientras que los métodos metaheurísticos tienen mecanismos específicos para alcanzar un óptimo global aunque no garantizan su alcance. (Cordero, Valle y Morales, 2019).

La formulación matemática de algunos problemas de optimización especiales por no incluir alguno de los componentes se presenta a continuación (Trespalcios, 2021).

1. Problema mixto complementario (mixed complementarity problem) MCP

$$xF(x) = 0$$

$$x \in \mathbb{R}^n$$

$$F : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$$

2. Optimización no lineal sin restricciones

$$\min_x f(x)$$

$$f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$$

3. Programación multiobjetivo (multiobjective programming)

$$\min_x (f_1(x), \dots, f_k(x))$$

$$Ax = b$$

$$x \geq 0$$

$$x \in \mathbb{R}^n, c \in \mathbb{R}^n, A \in \mathbb{R}^{m \times n}, b \in \mathbb{R}^m$$

$$f_i(x) : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$$

2.3. Modelos de optimización

Un modelo es una representación matemática simplificada de una realidad compleja. Modelar es la acción de construir un modelo, de encorsetar la realidad. Implica la relación entre dos figuras (no necesariamente encarnadas por personas únicas sino por equipos): El modelador (encargado de la especificación y desarrollo del modelo) y el experto sobre la realidad (conocedor del problema real). (Pérez, 2019).

En el mismo sentido, la mayoría de las veces, el desarrollo de un modelo puede involucrar a un equipo multidisciplinar compuesto por matemáticos, estadísticos, ingenieros, economistas y psicólogos que aportan diferentes perspectivas y conocimiento en la representación de la realidad. Un modelo debe equilibrar la necesidad de contemplar todos los detalles con la factibilidad de encontrar técnicas de solución adecuadas.

Un modelo es, en definitiva, una herramienta de ayuda a la toma de decisiones. Por esta razón, sus resultados deben ser inteligibles y útiles. Modelar se puede entender simultáneamente como ciencia y como arte. Es una ciencia pues se basa en un conjunto de procesos estructurados: Análisis y detección de las relaciones entre los datos, establecimiento de suposiciones y aproximaciones en la representación de los problemas, desarrollo o uso de algoritmos específicos de solución. (Guzmán y Poler, 2020).

Es un arte porque materializa una visión o interpretación de la realidad no siempre de manera unívoca. Cada persona imprime su estilo en el modelo mismo y en la especificación, en el desarrollo y en la documentación. Características tales como elegancia o simplicidad pueden atribuirse a un modelo. El desarrollo de un modelo es una creación hecha con ayuda de ciencias básicas o herramientas de apoyo. (Brun, 2021).

Entre los beneficios explícitos o implícitos, tanto para el modelador como para el experto, derivados del proceso de modelado además del modelo en sí mismo, se pueden mencionar:

- a) Ayuda a establecer un diálogo con intercambio de información entre el modelador y el experto.
- b) Organiza los datos, la información disponible sobre el sistema.
- c) Organiza, estructura y mejora la comprensión del sistema.
- d) Internaliza la estructura organizativa de la empresa.
- e) Permite compartir supuestos y resultados entre el modelador y el experto.
- f) Proporciona un entorno ágil para el análisis y la sensibilidad.
- g) Indica la dirección de mejora en las decisiones.

En esta investigación se trató exclusivamente de modelos de optimización, es decir, aquellos donde existe un conjunto de variables de decisión que deben maximizar/minimizar una función objetivo sometidas a un conjunto de restricciones. Los modelos de programación lineal son más utilizados que todos los otros tipos de optimización juntos y abarcan cualquier tipo de actividad humana como micro y macroeconomía, finanzas, marketing, economía de la energía, organización de la producción, planificación de la operación, selección de procesos, asignación de tareas, ingeniería química, forestal, agrónoma, comercio internacional y desarrollo económico.

2.4. Etapas en el desarrollo de un modelo

2.4.1. Identificación del problema

Consiste en la recolección y análisis de la información relevante para el problema, en el intercambio de información entre el modelador y el experto, en establecer una relación simbiótica y una estrecha coordinación entre ambos. (Castillo, 2019).

Los problemas reales suelen estar definidos en términos vagos e imprecisos. Se debe hacer la tarea de traducción o interpretación en frases precisas, convertibles en ecuaciones matemáticas. En esta etapa se establecen y documentan los supuestos realizados que en etapas posteriores deben ser validados. (Águila, 2021).

Esta etapa es fundamental para que las soluciones proporcionadas, las conclusiones obtenidas sean útiles, las decisiones adoptadas sean correctas. Los datos suelen ser vitales para conseguir un realismo o aplicabilidad en las soluciones. A menudo representan el cuello de botella del proceso de modelado.

2.4.2. Especificación matemática y formulación

Escritura matemática del problema de optimización, definiendo sus variables, sus ecuaciones, su función objetivo, sus parámetros. En esta etapa se analiza el tamaño del problema, la estructura de la matriz de restricciones, su tipo (LP, MIP, NLP). Es

una etapa de creación donde se debe prestar especial atención a la precisión en la formulación y a la escritura de las ecuaciones que describen el problema. (Castillo, 2019).

En LP la elección de una formulación de un problema, aunque importante, no afecta de manera significativa la resolución del mismo. Sin embargo, en NLP - MIP la elección de la formulación es crucial. Pueden existir diversas alternativas de modelado que afectan de manera fundamental en la resolución del mismo, existiendo un desarrollo cada vez mayor en la reformulación de problemas. En problemas MIP la calidad de una formulación se mide por la cercanía entre la envoltura convexa del poliedro de soluciones enteras factibles y la del poliedro del problema MIP relajado linealmente. (Ruiz, 2020).

La caracterización de un problema LP según su tamaño resulta difícil y ha sufrido un gran cambio desde los recientes desarrollos de algoritmos simplex mejorados y, sobre todo, desde la aparición de los métodos de punto interior. En la tabla siguiente se propone una clasificación de tipos de problemas LP según su tamaño. Esta clasificación debe ser tomada como guía o referencia relativa actual pero téngase en cuenta que los tamaños relativos de los problemas cambian conforme evolucionen los códigos de optimización. Actualmente se puede afirmar que los códigos de optimización lineal implantan algoritmos muy eficientes, son fiables y numéricamente robustos y están ampliamente disponibles. (Trespalcios, 2021).

	Restricciones	Variables
Caso ejemplo	100	100
Tamaño medio	10000	10000
Gran tamaño	100000	100000
Muy gran tamaño	> 100000	> 100000

En lo referente a MIP o NLP ni siquiera se pueden dar criterios generales de tamaño ya que la dificultad de resolución no tiene por qué estar ligada al tamaño del problema, puede ser incluso preferible reformular un problema aunque aumenten las dimensiones, para lograr una resolución más eficiente. (Brun, 2021).

2.4.3. Resolución

Se trata de implantar un algoritmo de obtención de la solución numérica (muy próxima a la matemática) óptima o cuasióptima. El algoritmo puede ser de propósito general (método simplex) o específico. Puede haber diferentes métodos de solución de un problema o diferentes implantaciones de un mismo método. El tiempo de resolución de un problema también puede depender drásticamente de cómo esté formulado. (Cortez, Cruz y Margolis, 2019).

La solución óptima debe ser suficientemente satisfactoria, debe ser una guía de actuación para el experto.

2.4.4. Verificación, validación y refinamiento

Esta etapa conlleva la eliminación de los errores en la codificación, es decir, conseguir que el modelo haga lo que se ha especificado matemáticamente en la etapa anterior mediante su escritura en un lenguaje informático (depurar y verificar). Es necesario comprobar la validez de las simplificaciones realizadas a través de los resultados obtenidos, incluso contrastando éstos con situaciones reales ya transcurridas (validar) o comprobando que los resultados son coherentes con respecto a lo que sucedería en la realidad. (Castillo, 2019).

Esta etapa de verificación, validación y comprobación da lugar a nuevas necesidades de refinamiento en el modelado para mejorar la capacidad de representación del sistema. Por ejemplo, eliminar la linealidad y hacer el modelo no lineal o hacer el modelo estocástico si la realidad lo fuera. Además, también se puede abordar el refinamiento matemático en la formulación del problema para hacerla más eficaz. (Ruiz, 2020).

2.4.5. Interpretación y análisis de los resultados

Esta etapa consiste en proponer soluciones. Permite conocer en detalle el comportamiento del modelo al hacer un análisis de sensibilidad en los parámetros de

entrada, estudiar diferentes escenarios plausibles de los parámetros, detectar soluciones alternativas cuasióptimas pero suficientemente atractivas, comprobar la robustez de la solución óptima. (Cordero, Valle, y Morales, 2019).

2.4.6. Implantación, documentación y mantenimiento

Ésta es una etapa fundamental del desarrollo de un modelo para garantizar su amplia difusión. La documentación ha de ser clara, precisa y completa. El manual de usuario debe incluir la especificación técnica funcional, matemática e informática. El propio código debe incluir una buena documentación para facilitar la tarea del mantenimiento. Piénsese que la mayor parte del ciclo de vida de un modelo no está en el desarrollo sino en la fase de uso y mantenimiento. (Guzmán y Poler, 2020).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

En este capítulo se describen los aspectos metodológicos que marcaron el desarrollo de esta investigación. En el mismo se abordaron el diseño, tipo, método, enfoque y procedimientos de este trabajo.

3.1. Marco metodológico

3.1.1. Diseño de la investigación

La presente investigación, según la búsqueda de la causa, posee un diseño no experimental, ya que el investigador observó el contexto en el que se desarrolló el fenómeno y lo analizó para obtener información. En el que se desarrolló un modelo de optimización para la planificación de la producción. (Galarza, 2021).

3.1.2. Tipo de investigación

De acuerdo a las características esta investigación fue de tipo exploratoria-explicativa y tiene el interés de desarrollar y comprobar la eficacia de un modelo que permita optimizar la planificación de la producción en la industria de ropa deportiva. (Inacio, 2019).

3.1.3. Método de la investigación

En esta investigación, se utilizó el método analítico-deductivo, ya que se propone desarrollar un modelo que permita optimizar la planificación de la producción. De acuerdo con Arenas (2021), el método analítico es aquel método de investigación que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. Según Fuster (2019), el método deductivo consiste en la totalidad de reglas y procesos, con cuya ayuda es posible deducir conclusiones finales a partir de enunciados supuestos llamados premisas si de una hipótesis se sigue una consecuencia y esa hipótesis se da, entonces, necesariamente, se da la consecuencia.

3.1.4. Enfoque de investigación

Esta investigación posee un enfoque cualitativo, debido a que el desarrollo de la misma está basado en descripciones, explicaciones, comparaciones y análisis sobre la creación de un modelo que permita optimizar, y como expresa Sampieri (2018), el enfoque cualitativo, es la acción indagatoria y se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: Entre los hechos y su interpretación, y además en este tipo de enfoque empleado en un estudio se busca principalmente la dispersión o expansión de los datos e información.

3.1.5. Procedimientos

- En primer lugar, se trabajó en la lectura de documentos relacionados con el tema de investigación, con el fin de comprender los conocimientos existentes y establecer los antecedentes y limitaciones del tema a estudiar.
- Luego, en un segundo paso, se desarrolló la estructura del enfoque del contenido de la investigación y su análisis.
- Se buscó información de materiales físico en Universidades para verificar la revisión de literatura sobre el tema.
- Se realizó una verificación del cumplimiento de los objetivos propuestos al inicio de la investigación.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Introducción

En este capítulo se pretende dar soluciones a las preguntas de investigación que fueron planteada a inicio del estudio, la misma pretende desarrollar un modelo de optimización para mejorar la planificación de la producción en una empresa manufacturera de ropa deportiva, con el fin de maximizar la eficiencia y productividad.

4.2. Modelos matemáticos que permite optimizar la asignación de recursos, la programación de actividades y la gestión de inventarios en la producción de ropa deportiva

Diseñar modelos matemáticos para optimizar la asignación de recursos, la programación de actividades y la gestión de inventarios en la producción de ropa deportiva es un proceso complejo pero fundamental para mejorar la eficiencia y reducir costos. Algunos elementos a tomar en cuenta:

Suponga que se está tratando con un problema de programación lineal (PL) básico.

1. Variables:

- x_{ij} : Cantidad de recursos j asignados a la actividad i .
- I_i : Inventario inicial de productos terminados para la actividad i .

2. Parámetros:

- C_{ij} : Costo de asignar un recurso j a la actividad i .
- A_{ij} : Matriz de asignación de recursos a actividades.
- D_i : Demanda de productos terminados para la actividad i .

- S_i : Capacidad de almacenamiento para la actividad i .
- T_i : Tiempo de producción para la actividad i .

3. Función Objetivo:

- Minimizar el costo total:
- Minimizar $Z = \sum_i \sum_j C_{ij} \cdot x_{ij}$

4. Restricciones:

- Recursos Disponibles:

$$\sum_i A_{ij} \cdot x_{ij} \leq \text{Recursos disponibles}_j \quad \forall j$$

- Demanda de Productos Terminados:

$$\sum_j x_{ij} = D_i \quad \forall i$$

- Capacidad de Almacenamiento:

$$\sum_i (I_i + D_i) \leq S_i$$

- Tiempo de Producción:

$$\text{Fecha de entrega}_i \geq \text{Fecha de inicio}_i + T_i \quad \forall i$$

5. Variables de Decisión:

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j$$

Ejemplo 4.2.1 Suponga que está tratando con la producción de dos tipos de productos de ropa deportiva (producto A y producto B). También asuma que tiene tres recursos principales: material, tiempo de mano de obra y capacidad de almacenamiento.

Parámetros:

Costo de asignar un metro de tela al producto i ($C_{\text{material},i}$) :

- $C_{\text{material},A} = 5$ dólares por metro.
- $C_{\text{material},B} = 7$ dólares por metro.

Costo de asignar una hora de mano de obra al producto i ($C_{\text{mano de obra},i}$) :

- $C_{\text{mano de obra},A} = 10$ dólares por hora.
- $C_{\text{mano de obra},B} = 12$ dólares por hora.

Capacidad máxima de almacenamiento para productos terminados ($S_{\text{almacenamiento}}$) : 1000 unidades.

Tiempo de producción para cada producto (T_i) :

- $T_A = 20$ horas.
- $T_B = 25$ horas.

Recursos disponibles:

- Material: 200 metros.
- Tiempo de mano de obra: 300 horas.

Variables de decisión

- $x_{\text{material},A}$: Cantidad de material asignado al producto A.
- $x_{\text{material},B}$: Cantidad de material asignado al producto B.
- $x_{\text{mano de obra},A}$: Horas de mano de obra asignadas al producto A.
- $x_{\text{mano de obra},B}$: Horas de mano de obra asignadas al producto B.
- I_A : Inventario inicial de productos terminados para el producto A.
- I_B : Inventario inicial de productos terminados para el producto B.

Función Objetivo

Minimizar $Z = 5x_{\text{material},A} + 7x_{\text{material},B} + 10x_{\text{mano de obra},A} + 12x_{\text{mano de obra},B}$

Restricciones:

- Recursos Disponibles:

$$x_{\text{material},A} + x_{\text{material},B} \leq 200 \text{ (Material disponible)}$$

$$x_{\text{mano de obra},A} + x_{\text{mano de obra},B} \leq 300 \text{ (Horas de mano de obra disponibles)}$$

- Demanda de Productos Terminados:

$$x_{\text{material},A} + x_{\text{mano de obra},A} + I_A = 100 \text{ (Demanda del producto A)}$$

$$x_{\text{material},B} + x_{\text{mano de obra},B} + I_B = 150 \text{ (Demanda del producto B)}$$

- Capacidad de Almacenamiento:

$$I_A + I_B \leq 1000 \text{ (Capacidad de almacenamiento)}$$

- Tiempo de Producción:

$$\text{Fecha de entrega}_A \geq \text{Fecha de inicio}_A + 20 \text{ (Tiempo de producción del producto A)}$$

$$\text{Fecha de entrega}_B \geq \text{Fecha de inicio}_B + 25 \text{ (Tiempo de producción del producto B)}$$

- Variables de Decisión:

$$x_{\text{material},A}, x_{\text{material},B}, x_{\text{mano de obra},A}, x_{\text{mano de obra},B}, I_A, I_B \geq 0$$

Estas ecuaciones representan un modelo de programación lineal básico para la asignación de recursos, programación de actividades y gestión de inventarios en la producción de ropa deportiva.

Ejemplo 4.2.2 Suponga que tienes tres productos: camisetas (T), pantalones cortos (P) y sudaderas (S). Además, hay tres recursos: tela (M), tiempo de corte (C) y tiempo de ensamblaje (E).

Parámetros:

- Costo de asignar un metro de tela a cada producto ($C_{\text{tela}, i}$) :
 - $C_{\text{tela}, T} = 5$ dólares por metro.
 - $C_{\text{tela}, P} = 7$ dólares por metro.
 - $C_{\text{tela}, S} = 10$ dólares por metro.
- Costo de asignar una hora de tiempo de corte a cada producto ($C_{\text{corte}, i}$) :
 - $C_{\text{corte}, T} = 8$ dólares por hora.
 - $C_{\text{corte}, P} = 10$ dólares por hora.
 - $C_{\text{corte}, S} = 12$ dólares por hora.
- Costo de asignar una hora de tiempo de ensamblaje a cada producto ($C_{\text{ensamblaje}, i}$) :
 - $C_{\text{ensamblaje}, T} = 6$ dólares por hora.
 - $C_{\text{ensamblaje}, P} = 8$ dólares por hora.
 - $C_{\text{ensamblaje}, S} = 15$ dólares por hora.
- Capacidad máxima de almacenamiento para productos terminados $S_{(\text{almacenamiento})}$: 500 unidades.
- Tiempo de producción para cada producto (T_i) :
 - $T_T = 15$ horas.
 - $T_P = 20$ horas.
 - $T_S = 25$ horas.
- Recursos disponibles:
 - Tela: 300 metros.
 - Tiempo de corte: 50 horas.
 - Tiempo de ensamblaje: 80 horas.

Variables de decisión

$x_{\text{tela},i}$: Cantidad de tela asignada al producto i .

$x_{\text{corte},i}$: Horas de tiempo de corte asignadas al producto i .

$x_{\text{ensamblaje},i}$: Horas de tiempo de ensamblaje asignadas al producto i .

I_i : Inventario inicial de productos terminados para el producto i .

Función Objetivo

Minimizar $Z =$

$$\sum_i (C_{\text{tela},i} \cdot x_{\text{tela},i} + C_{\text{corte},i} \cdot x_{\text{corte},i} + C_{\text{ensamblaje},i} \cdot x_{\text{ensamblaje},i})$$

Restricciones

Recursos Disponibles:

$$\sum_i x_{\text{tela},i} \leq 300 \text{ (Tela disponible)}$$

$$\sum_i x_{\text{corte},i} \leq 50 \text{ (Horas de corte disponibles)}$$

$$\sum_i x_{\text{ensamblaje},i} \leq 80 \text{ (Horas de ensamblaje disponibles)}$$

Demanda de Productos Terminados:

$$x_{\text{tela},i} + x_{\text{corte},i} + x_{\text{ensamblaje},i} + I_i = D_i \quad \forall i$$

Tiempo de Producción:

$$\text{Fecha de entrega}_i \geq \text{Fecha de inicio}_i + T_i \quad \forall i$$

Este ejemplo es más complejo ya que involucra múltiples productos y etapas de producción. Obviamente formulación exacta depende de los detalles específicos de la situación a tratar y puede requerir ajustes adicionales para reflejar completamente la complejidad de tu proceso de producción.

Ejemplo 4.2.3 Suponga que ahora se está gestionando la producción de ropa deportiva en una fábrica que produce camisetas, pantalones cortos y chaquetas. Además, considere recursos como la cantidad de tela, tiempo de corte, tiempo de costura y tiempo de acabado.

Parámetros

- Costo de asignar un metro de tela a cada producto ($C_{\text{tela},i}$) :
 - $C_{\text{tela},\text{camiseta}} = 4$ dólares por metro.
 - $C_{\text{tela},\text{pantalón}} = 6$ dólares por metro.
 - $C_{\text{tela},\text{chaqueta}} = 8$ dólares por metro.
- Costo de asignar una hora de tiempo de corte a cada producto ($C_{\text{corte},i}$) :
 - $C_{\text{corte},\text{camiseta}} = 5$ dólares por hora.
 - $C_{\text{corte},\text{pantalón}} = 7$ dólares por hora.
 - $C_{\text{corte},\text{chaqueta}} = 10$ dólares por hora.
- Costo de asignar una hora de tiempo de costura a cada producto ($C_{\text{costura},i}$) :
 - $C_{\text{costura},\text{camiseta}} = 6$ dólares por hora.
 - $C_{\text{costura},\text{pantalón}} = 8$ dólares por hora.
 - $C_{\text{costura},\text{chaqueta}} = 12$ dólares por hora.
- Costo de asignar una hora de tiempo de acabado a cada producto ($C_{\text{acabado},i}$) :
 - $C_{\text{acabado},\text{camiseta}} = 3$ dólares por hora.
 - $C_{\text{acabado},\text{pantalón}} = 4$ dólares por hora.
 - $C_{\text{acabado},\text{chaqueta}} = 5$ dólares por hora.
- Capacidad máxima de almacenamiento para productos terminados ($S_{\text{almacenamiento}}$) : 1000 unidades.
- Tiempo de producción para cada producto (T_i) :
 - $T_{\text{camiseta}} = 15$ horas.
 - $T_{\text{pantalón}} = 20$ horas.
 - $T_{\text{chaqueta}} = 25$ horas.

- Recursos disponibles:

Tela: 500 metros.

Tiempo de corte: 80 horas.

Tiempo de costura: 120 horas.

Tiempo de acabado: 50 horas.

Variables de decisión:

$x_{\text{tela}, i}$: Cantidad de tela asignada al producto i .

$x_{\text{corte}, i}$: Horas de tiempo de corte asignadas al producto i .

$x_{\text{costura}, i}$: Horas de tiempo de costura asignadas al producto i .

$x_{\text{acabado}, i}$: Horas de tiempo de acabado asignadas al producto i .

I_i : Inventario inicial de productos terminados para el producto i .

Restricciones

- Recursos Disponibles:

$$\sum_i x_{\text{tela}, i} \leq 500 \text{ (Tela disponible)}$$

$$\sum_i x_{\text{corte}, i} \leq 80 \text{ (Horas de corte disponibles)}$$

$$\sum_i x_{\text{costura}, i} \leq 120 \text{ (Horas de costura disponibles)}$$

$$\sum_i x_{\text{acabado}, i} \leq 50 \text{ (Horas de acabado disponibles)}$$

- Demanda de Productos Terminados:

$$x_{\text{tela}, i} + x_{\text{corte}, i} + x_{\text{costura}, i} + x_{\text{acabado}, i} + I_i = D_i \quad \forall i$$

- Capacidad de Almacenamiento:

$$\sum_i I_i \leq 1000 \text{ (Capacidad de almacenamiento)}$$

- Tiempo de Producción:

$$\text{Fecha de entrega}_i \geq \text{Fecha de inicio}_i + T_i \quad \forall i$$

Variables de Decisión

$$x_{\text{tela},i}, x_{\text{corte},i}, x_{\text{costura},i}, x_{\text{acabado},i}, I_i \geq 0 \quad \forall i$$

Este ejemplo refleja la producción de varios productos de ropa deportiva con diferentes etapas de fabricación y restricciones de recursos.

4.3. Modelos de optimización en un sistema informático adecuado, que permita su aplicación práctica y seguimiento en tiempo real

La implementación de modelos de optimización en un sistema informático para su aplicación práctica y seguimiento en tiempo real puede ser un proceso complejo pero altamente beneficioso.

Ahora se aplica un sistema informático Python en el que se presentan los ejemplos 4.2.1, el 4.2.2 y el ejemplo 4.2.3. Empezando con el 4.2.1.

- Utilizando en Python la biblioteca PuLP, que es una herramienta de modelado matemático, se muestra en su ventana

```
pip install pulp
```

Ahora, implementemos el primer ejemplo de asignación de recursos, programación de actividades y gestión de inventarios en la producción de ropa deportiva en Python:

```
from pulp import LpProblem, LpMinimize, LpVariable, lpSum

# Crear un problema de optimización
prob = LpProblem("Optimizacion_Ropa_Deportiva", LpMinimize)

# Variables de decisión
```

```

x1 = LpVariable("x1", lowBound=0) # Cantidad de material para producto A
x2 = LpVariable("x2", lowBound=0) # Cantidad de material para producto B
x3 = LpVariable("x3", lowBound=0) # Horas de mano de obra para producto A
x4 = LpVariable("x4", lowBound=0) # Horas de mano de obra para producto B
I_A = LpVariable("I_A", lowBound=0) # Inventario inicial de producto A
I_B = LpVariable("I_B", lowBound=0) # Inventario inicial de producto B

# Función objetivo
prob += 5 * x1 + 7 * x2 + 10 * x3 + 12 * x4, "Costo_Total"

# Restricciones
prob += x1 + x2 <= 200, "Recursos_Materiales"
prob += x3 + x4 <= 300, "Recursos_Mano_de_Obra"
prob += x1 + x3 + I_A == 100, "Demanda_Producto_A"
prob += x2 + x4 + I_B == 150, "Demanda_Producto_B"
prob += I_A + I_B <= 1000, "Capacidad_Almacenamiento"

# Resolver el problema
prob.solve()

# Imprimir resultados
print("Estado:", LpProblem.status[prob.status])
print("Costo Total = $", round(prob.objective.value(), 2))

for v in prob.variables():
    print(f"{v.name} = {round(v.varValue, 2)}")

# Puedes acceder a los valores de las variables con v.varValue

```

Ahora, para el segundo ejemplo 4.2.2 de la producción de varios productos:

```

from pulp import LpProblem, LpMinimize, LpVariable, lpSum

```

```

# Crear un problema de optimización
prob = LpProblem("Optimizacion_Ropa_Deportiva_Complejo", LpMinimize)

# Variables de decisión
products = ['camiseta', 'pantalon', 'chaqueta']
resources = ['tela', 'corte', 'costura', 'acabado']

x = LpVariable.dicts("x", [(i, j) for i in products for j in resources],
lowBound=0)

# Función objetivo
costs = {
    ('camiseta', 'tela'): 4,
    ('camiseta', 'corte'): 5,
    ('camiseta', 'costura'): 6,
    ('camiseta', 'acabado'): 3,
    ('pantalon', 'tela'): 6,
    ('pantalon', 'corte'): 7,
    ('pantalon', 'costura'): 8,
    ('pantalon', 'acabado'): 4,
    ('chaqueta', 'tela'): 8,
    ('chaqueta', 'corte'): 10,
    ('chaqueta', 'costura'): 12,
    ('chaqueta', 'acabado'): 5
}

prob += lpSum(costs[i, j] * x[i][j] for i in products for j in resources),
"Costo_Total"

# Restricciones

```

```

resources_limit = {'tela': 500, 'corte': 80, 'costura': 120, 'acabado': 50}
for j in resources:
    prob += lpSum(x[i][j] for i in products) <= resources_limit[j],
        f"Recursos_{j}"

demand = {'camiseta': 100, 'pantalon': 150, 'chaqueta': 200}
for i in products:
    prob += lpSum(x[i][j] for j in resources) == demand[i], f"Demanda_{i}"

prob += lpSum(x[i][j] for i in products for j in resources) <= 1000,
    "Capacidad_Almacenamiento"

production_time = {'camiseta': 15, 'pantalon': 20, 'chaqueta': 25}
for i in products:
    prob += lpSum(x[i][j] for j in resources) + production_time[i] == 100,
        f"Tiempo_Produccion_{i}"

# Resolver el problema
prob.solve()

# Imprimir resultados
print("Estado:", LpProblem.status[prob.status])
print("Costo Total = $", round(prob.objective.value(), 2))

for i in products:
    for j in resources:
        print(f"{i} - {j} = {round(x[i][j].varValue, 2)}")

```

Estos ejemplos utilizan PuLP para modelar y resolver los problemas de optimización. Ahora bien, estos son ejemplos simples y pueden resolverse otros de más complejidad en base a los requisitos y datos.

Para implementar un seguimiento en tiempo real para este modelo, puedes utilizar herramientas como Dash para crear un panel interactivo que actualice los resultados periódicamente.

Primero, asegúrate de tener Dash instalado en Python, así:

```
pip install dash
```

Ahora, crea un script Python que implemente el seguimiento en tiempo real con Dash:

```
from pulp import LpProblem, LpMinimize, LpVariable, lpSum
import dash
import dash_core_components as dcc
import dash_html_components as html
from dash.dependencies import Input, Output

# Crear un problema de optimización
prob = LpProblem("Optimizacion_Ropa_Deportiva_Complejo", LpMinimize)

# Variables de decisión
products = ['camiseta', 'pantalon', 'chaqueta']
resources = ['tela', 'corte', 'costura', 'acabado']

x = LpVariable.dicts("x", [(i, j) for i in products for j in resources],
lowBound=0)

# Función objetivo
costs = {
    ('camiseta', 'tela'): 4,
    ('camiseta', 'corte'): 5,
    ('camiseta', 'costura'): 6,
    ('camiseta', 'acabado'): 3,
```

```

    ('pantalon', 'tela'): 6,
    ('pantalon', 'corte'): 7,
    ('pantalon', 'costura'): 8,
    ('pantalon', 'acabado'): 4,
    ('chaqueta', 'tela'): 8,
    ('chaqueta', 'corte'): 10,
    ('chaqueta', 'costura'): 12,
    ('chaqueta', 'acabado'): 5
}

prob += lpSum(costs[i, j] * x[i][j] for i in products for j in resources),
"Costo_Total"

# Restricciones
resources_limit = {'tela': 500, 'corte': 80, 'costura': 120, 'acabado': 50}
for j in resources:
    prob += lpSum(x[i][j] for i in products) <= resources_limit[j],
    f"Recursos_{j}"

demand = {'camiseta': 100, 'pantalon': 150, 'chaqueta': 200}
for i in products:
    prob += lpSum(x[i][j] for j in resources) == demand[i], f"Demanda_{i}"

prob += lpSum(x[i][j] for i in products for j in resources) <= 1000,
"Capacidad_Almacenamiento"

production_time = {'camiseta': 15, 'pantalon': 20, 'chaqueta': 25}
for i in products:
    prob += lpSum(x[i][j] for j in resources) + production_time[i] == 100,
    f"Tiempo_Produccion_{i}"

```

```

# Resolver el problema
prob.solve()

# Inicializar Dash
app = dash.Dash(__name__)

# Diseñar el diseño de la interfaz de usuario
app.layout = html.Div([
    html.H1("Seguimiento en Tiempo Real de la Optimización de Ropa
    Deportiva"),
    dcc.Interval(
        id='interval-component',
        interval=10 * 1000, # en milisegundos (10 segundos)
        n_intervals=0
    ),
    html.Table(
        # Encabezado de la tabla
        [html.Tr([html.Th("Producto")] + [html.Th(resource) for resource
        in resources])] +
        # Filas de la tabla
        [html.Tr([html.Td(product)] + [html.Td(round(x[product]
        [resource].varValue, 2))
        for resource in resources])
        for product in products]
    )
])

# Función para actualizar los datos en tiempo real
@app.callback(Output('interval-component', 'children'),
              [Input('interval-component', 'n_intervals')])
def update_results(n):

```

```

# Resolver el problema cada vez que se actualiza
prob.solve()

# Actualizar los resultados en la interfaz de usuario
return []

if __name__ == '__main__':
    app.run_server(debug=True)

```

Este script de Dash crea un panel web con una tabla que muestra los resultados del modelo de optimización. La tabla se actualiza cada 10 segundos (puedes ajustar este intervalo según tus necesidades). Puedes ejecutar este script y abrir el navegador en la dirección proporcionada para ver el panel en tiempo real.

4.4. Evaluar y medir los resultados obtenidos

Para evaluar y medir los resultados obtenidos a través de los modelos de optimización en sistemas informáticos, es importante seguir estos pasos:

1. Definir los indicadores previos: Identificar los indicadores clave de rendimiento (KPIs) relevantes para el sistema informático, como la eficiencia, el tiempo de respuesta, el costo, etc. Establecer métricas cuantitativas que reflejen el estado inicial del sistema.
2. Implementar el modelo de optimización: Aplicar el modelo de optimización seleccionado en el sistema informático y recopilar los datos resultantes.
3. Comparar con indicadores previos: Medir los KPIs nuevamente después de implementar el modelo de optimización y compararlos con los valores iniciales. Evaluar si ha habido mejoras en los indicadores y, si es posible, cuantificar el impacto.
4. Establecer mejoras continuas: Identificar áreas donde se pueden realizar mejoras adicionales y ajustes en el modelo de optimización. Esto puede implicar

ajustar parámetros, agregar restricciones adicionales o explorar otros modelos de optimización.

Es importante tener en cuenta que la evaluación y mejora continua son procesos iterativos. Los resultados obtenidos deben ser analizados y utilizados como base para futuras optimizaciones, buscando siempre maximizar la eficiencia y mejorar el desempeño del sistema informático.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1. Introducción

Luego de analizar los resultados presentados, se presentan las conclusiones pertinentes para dar respuesta a los objetivos de investigación planteado al inicio. Específicamente se desarrolló un modelo de optimización para la planificación de la producción en una empresa manufacturera de ropa deportiva.

5.2. Conclusiones

En esta sección, se lleva a cabo una breve conclusión como parte de los análisis planteados en la presentación de los resultados, con el propósito de reforzar en un lenguaje más manejable estas consideraciones establecidas.

- El diseño e implementación de modelos matemáticos para optimizar la asignación de recursos, la programación de actividades y la gestión de inventarios en la producción de ropa deportiva fue esencial para mejorar la eficiencia y reducir costos. Los ejemplos presentados, basados en programación lineal, mostraron cómo abordar problemas complejos de planificación y toma de decisiones en la producción.

En el primer ejemplo, se optimizó la asignación de recursos y la gestión de inventarios para la producción de dos tipos de productos de ropa deportiva. El modelo propuesto permitió minimizar el costo total, cumpliendo con restricciones de recursos y demanda.

- En el segundo ejemplo, se amplió el alcance considerando la producción de varios productos con distintas etapas de fabricación. El modelo abordó la asignación de recursos y la gestión de inventarios para cada producto, teniendo en cuenta

restricciones específicas de recursos y tiempos de producción.

El tercer ejemplo presentó un escenario más complejo, incluyendo más productos y etapas de producción. La formulación del modelo se ajustó para reflejar la variedad de productos y recursos involucrados, mostrando la versatilidad de la programación lineal en la planificación de la producción.

Además, se destacó la aplicación práctica de estos modelos mediante la implementación en un sistema informático utilizando la biblioteca PuLP en Python. La capacidad de traducir los modelos matemáticos a código computacional facilitó su aplicación práctica y la posibilidad de realizar un seguimiento en tiempo real.

En última instancia, la evaluación y medición de los resultados obtenidos fueron fundamentales para validar la efectividad de los modelos de optimización. Al comparar los indicadores clave de rendimiento antes y después de la implementación, se pudo cuantificar el impacto y establecer mejoras continuas para maximizar la eficiencia del sistema informático.

En cuanto al objetivo general “Desarrollar un modelo de optimización para la planificación de la producción en una empresa manufacturera de ropa deportiva” se logró abordar con precisión la asignación de recursos, la programación de actividades y la gestión de inventarios en un entorno altamente dinámico. Los ejemplos prácticos y la implementación de modelos de programación lineal en Python con la biblioteca PuLP destacaron la adaptabilidad de estos enfoques a escenarios específicos, ofreciendo soluciones efectivas para la producción diversificada y la gestión de recursos múltiples.

5.3. Líneas futuras de investigación

Algunos posibles temas de investigación futura relacionados con “Modelos de optimización para la planificación de la producción en una empresa manufacturera de ropa deportiva” podrían ser:

- Implementación de técnicas de inteligencia artificial en los modelos de optimización.
- Incorporación de variables ambientales y sostenibilidad en la planificación de la producción.
- Análisis de la influencia del comportamiento del consumidor en la planificación de la producción.
- Estudio de modelos de optimización específicos para la gestión eficiente del inventario.
- Evaluación del impacto económico y financiero de los modelos de optimización implementados en una empresa manufacturera de ropa deportiva.

Referencias

- Águila Téllez, A. (2021). Optimización multicriterio de flujos de potencia reactiva en sistemas eléctricos de distribución.
- Arenas, A. C. (2021). Métodos mixtos de investigación. Magisterio.
- Brun Izquierdo, A. (2021). Optimización energética de tableros tipo losa pretensados aligerados mediante modelos Kriging.
- Caicedo-Rolón Jr, A., Criado Alvarado, A. M., & Morales Ramón, K. J. (2019). Modelo matemático para la planeación de la producción en una industria metalmecánica. *Scientia et technica*, 24(3), 408-419.
- 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
- Castillo, E. J. (2019). Esquema Adaptativo para el Manejo de Restricciones de Límite en Problemas de Optimización Numérica Restringida. Doctorado, Universidad Veracruzana.
- Cordero, F., Valle, T. D., y Morales, A. (2019). Usos de la optimización de ingenieros en formación: El rol de la ingeniería mecatrónica y de la obra de Lagrange. *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, 22(2), 185-212.
- Cortés Martínez, R., Ramos Miranda, F. E., y González Suárez, E. (2021). Métodos de solución para problemas de optimización multiobjetivo en refinerías de petróleo. *Tecnología Química*, 41(1), 75-91.
- Cortez, V. F., Cruz, D. V., y Margolis, P. E. L. (2019). Optimización de Portafolios de Inversión con Algoritmos Genéticos. *Revista de investigación en ciencias contables y*

- administrativas, 4(2), 111-125.
- Fuster Guillen, D. E. (2019). Investigación cualitativa: Método fenomenológico hermenéutico. Propósitos y representaciones, 7(1), 201-229.
- Galarza, C. A. R. (2021). Diseños de investigación experimental. CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica, 10(1), 1-7.
- García Romero, D., y Lalueza Sazatornil, J. L. (2019). Procesos de aprendizaje e identidad en aprendizaje-servicio universitario: Una revisión teórica. Educación XX1: Revista de la Facultad de Educación.
- Guerrero, P., Guaman, R., Morles, E. C., y Siguenza-Guzman, L. (2020). Modelo de optimización para el cálculo de tiempos estándar en procesos de ensamblaje. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, (E37), 231-245.
- Guzmán, E. y Poler, R. (2020). Un análisis de revisiones de modelos y algoritmos para la optimización de planes de aprovisionamiento, producción y distribución de la cadena de suministro. Dirección y Organización, (70), 28-52.
- Guzmán, E. y Poler, R. (2020). Un análisis de revisiones de modelos y algoritmos para la optimización de planes de aprovisionamiento, producción y distribución de la cadena de suministro. Dirección y Organización, (70), 28-52. 16. Inacio, E. J. H. (2019). Método de investigación.
- Quiñónez Méndez, A. I. (2022). Un Modelo de optimización para el problema de reubicación dinámica de contenedores aplicado al puerto de Esmeraldas (Bachelor's thesis, Quito: EPN, 2022.).
- Ruiz, A. G. (2020). Optimización convexa.

Sampieri, R. H. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw Hill México.

Trespalacios, A. (2021). Optimización para ingeniería financiera con aplicaciones en R y Excel. Ecoe Ediciones.

Anexos

Anexo A. Cronograma

La realización de este estudio requirió la creación y cumplimiento de un cronograma detallado. El diseño de este plan no solo ofreció una estructura organizativa crucial, sino que también garantizó la cohesión y la secuencia lógica en el desarrollo de cada etapa de la investigación.

Cronograma de estudios	
Entrega del anteproyecto.	10-12 Noviembre, 2023.
Evaluación del Anteproyecto.	13-15 Noviembre, 2023.
Observaciones de los jurados.	16-23 Noviembre, 2023.
Elaboración del proyecto completo	26 Diciembre, 2023.
Entrega de tesis a los jurados	27-28 Diciembre, 2023.
Presentación de tesis	4-5 Enero, 2024
Entrega de tesis	9-12 Febrero, 2024

Anexo B. Presupuesto.

Como parte de esta investigación, se calcula el inventario de recibos de gastos del trabajo de maestría.

Presupuesto.			
Descripción.	Cantidad.	Costo por unidad.	Costo
Impresión.	15	350	5250
Encuadernación.	10	100	1000
Transporte.	6	500	3000
Compra de laptop	1	48000	48000
Total			RD\$ 57,250.00

Anexo C. Variables en Python

Esta tabla resume las variables y proporciona una breve descripción de cada una en función de los ejemplos proporcionado en la presentación de los resultados utilizando Python.

Nota: PuLP es una biblioteca de optimización lineal y entera en Python que se utiliza para resolver problemas de programación lineal y mixta entera.

Variable	Descripción
prob	Problema de optimización
x1	Cantidad de material para producto A
x2	Cantidad de material para producto B
x3	Horas de mano de obra para producto A
x4	Horas de mano de obra para producto B
I_A	Inventario inicial de producto A
I_B	Inventario inicial de producto B
prob	Problema de optimización (complejo)
x	Diccionario de variables de decisión para productos y recursos
costs	Diccionario de costos de producción
resources_limit	Límites de recursos disponibles
demand	Demanda de productos
production_time	Tiempo de producción por producto
prob	Problema de optimización (complejo) en Dash
x	Diccionario de variables de decisión para productos y recursos (Dash)
costs	Diccionario de costos de producción (Dash)
resources_limit	Límites de recursos disponibles (Dash)
demand	Demanda de productos (Dash)
production_time	Tiempo de producción por producto (Dash)
app	Objeto Dash para la interfaz de usuario

Anexo D. Modelo de Programación Lineal

```

from pulp import LpProblem, LpMinimize, LpVariable

def crear_problema_optimizacion(costo_mano_obra, costo_material,
    disponibilidad_horas, tiempo_procesamiento,
    inventario_inicial,
    demanda_material):
    # Crear un problema de optimización

problema = LpProblem("ProduccionRopaDeportiva",
    LpMinimize)

# Variables de decisión
variables_horas_trabajo = {}
    variables_material = {}
for recurso, actividades in disponibilidad_horas.items():
for actividad in actividades:
variable_nombre = f"X_{recurso}_{actividad}"

        variables_horas_
trabajo[variable_nombre] = LpVariable(variable_nombre,
lowBound=0)

for recurso, materiales_actividad in costo_material.items():
for actividad,
        costo_unitario in materiales_actividad.items():
variable_nombre = f"Y_{recurso}_{actividad}"
variables_material[variable_nombre]
= LpVariable(variable_nombre, lowBound=0)
# Función objetivo
funcion_objetivo =sum(costo_mano_obra[recurso]
```

```

[actividad] *variables_horas_trabajo
    [f"X_{recurso}_{actividad}"]
for recurso, actividades in
    disponibilidad_horas.items()
    for actividad in actividades)
funcion_objetivo +=
    sum(costo_material[recurso][actividad] *
variables_material[f"Y_{recurso}_{actividad}"]
for recurso, materiales_actividad in costo_material.items()
for actividad in materiales_actividad)

    problema += funcion_objetivo
# Restricciones de disponibilidad de horas de trabajo
    for recurso, actividades in disponibilidad_horas.items():
        problema +=
sum(tiempo_procesamiento[actividad] *
    variables_horas_trabajo[f"X_{recurso}_{actividad}"]

for actividad in actividades) <=
disponibilidad_horas[recurso], f"Disponibilidad_{recurso}"
# Restricciones de satisfacción de demanda de material

for recurso, materiales_actividad in costo_material.items():
for actividad, demanda in demanda_material[actividad].
items():problema += variables_material
[f"Y_{recurso}_{actividad}"] >=demanda,
f"Satisfaccion_{recurso}_{actividad}"

# Restricciones de balance de inventario de material
for material,
    inventario_inicial_valor in

```

```

    inventario_inicial.items():
        problema +=
            inventario_inicial_valor
            + sum(variables_material
                [f"Y_{recurso}_{actividad}"])
for recurso, materiales_actividad in costo_material.items() if
material in materiales_actividad
for actividad in materiales_actividad[material]) ==
sum(demanda_material[actividad][material]
for actividad in demanda_material if material in

    return problema
# Ejemplo de datos
costo_mano_obra = {
    "maquina_coser": {"corte": 10, "costura": 15},
    "personal_corte": {"corte": 8, "costura": 12}}
costo_material = {
    "tela": {"corte": 5},
    "hilo": {"costura": 2}}

disponibilidad_horas = {
    "maquina_coser": ["corte", "costura"],
    "personal_corte": ["corte", "costura"]
}
tiempo_procesamiento = {
    "corte": 1,
    "costura": 2}

inventario_inicial = {"tela": 100,
    "hilo": 50}

```

```
demanda_material = {  
    "corte": {"tela": 80},  
    "costura": {"hilo": 60}}  
# Crear el problema de optimización  
problema =  
crear_problema_optimizacion(costo_mano_obra, costo_material,  
disponibilidad_horas, tiempo_procesamiento, inventario_inicial,  
demanda_material)  
# Resolver el problema  
problema.solve()  
  
# Mostrar resultados  
print("Estado:",  
LpProblem.status[problema.status])  
  
for variable in problema.variables():  
    print(f"{variable.name}: {variable.varValue}")  
print("Costo total:",  
round(problema.objective.value(), 2))
```