



BUSINESS SCHOOL

Tesis previa a la obtención del título de Licenciado en Administración de Empresas.

Autores:

Alejandro Francisco Gagliardo Navarrete
Sheila Isamar Quinteros Gonzalez
Michael Geovanny Paredes Moina

Tutor:

Msg. Hugo Renán Ruiz López

Optimización de Personal en Cajas de Autoservicio para mejorar la eficiencia y experiencia en Tiendas Minis

Declaración Expresa

Nosotros, ALEJANDRO FRANCISCO GAGLIARDO NAVARRETE, SHEILA ISAMAR QUINTEROS GONZALEZ y MICHAEL GEOVANNY PAREDES MOINA, en calidad de autores del trabajo de investigación titulado OPTIMIZACIÓN DE PERSONAL EN CAJAS DE AUTOSERVICIO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA Y EXPERIENCIA EN TIENDAS MINIS, autorizamos a la Universidad Internacional del Ecuador - UIDE para hacer uso del contenido de la presente obra, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos de uso de este trabajo corresponden a la Universidad Internacional del Ecuador. La responsabilidad legal del contenido del documento corresponde exclusivamente al autor.

ALEJANDRO FRANCISCO GAGLIARDO NAVARRETE
C.I.: 0914200241

SHEILA ISAMAR QUINTEROS GONZÁLEZ
C.I.: 0940355266

PAREDES MOINA MICHAEL GEOVANNY
C.I.: 0923716930

Certificación: Autoría del Trabajo de Titulación

Nosotros, ALEJANDRO FRANCISCO GAGLIARDO NAVARRETE, SHEILA ISAMAR QUINTEROS GONZALEZ y MICHAEL GEOVANNY PAREDES MOINA, declaramos bajo juramento que el trabajo de titulación titulado OPTIMIZACIÓN DE PERSONAL EN CAJAS DE AUTOSERVICIO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA Y EXPERIENCIA EN TIENDAS MINIS, es de nuestra autoría y exclusiva responsabilidad legal y académica; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, habiéndose citado las fuentes correspondientes y respetando las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

ALEJANDRO FRANCISCO GAGLIARDO NAVARRETE
C.I.: 0914200241

SHEILA ISAMAR QUINTEROS GONZÁLEZ
C.I.: 0940355266

PAREDES MOINA MICHAEL GEOVANNY
C.I.: 0923716930



AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

Gustavo Vega, PhD.
Rector

Simón Cueva, PhD.
Vicerrector Académico

Patricio Torres, PhD.
Decano Facultad de Ciencias Administrativas

MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Viviana Medina Vergara, MBA.
Directora Académica (E.)

Cristina Plúa Muñoz, MBA.
Coordinadora carrera Negocios Internacionales

Viviana Medina Vergara, MBA.
Coordinadora carrera Administración de Empresas

Tania Palacios Sarmiento, MGS.
Coordinadora carrera Marketing

DEDICATORIA

A nuestros hijos, dejándoles un camino a superar.
A nuestras familias y amigos que incondicionalmente estuvieron en esas noches largas de angustias y alto esfuerzo, no dejándonos caer ante la presión.
A aquellos seres queridos que ya no están, pero en su momento contribuyeron con su sabiduría en nuestra formación.
A los docentes que dejaron huellas y enseñanzas, no solo en lo académico, también en el aspecto profesional y, que, de seguro nos ayudará en nuestra vida laboral.

Alejandro Francisco Gagliardo Navarrete
Sheila Isamar Quinteros Gonzalez
Michael Geovanny Paredes Moina

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, gracias a Dios por su guía en todo momento.

Sinceros agradecimientos a nuestras familias por el apoyo que nos brindaron al tomar de su tiempo para poder tener este nuevo logro profesional.

También, cabe hacer un espacio para agradecer a la Universidad Internacional Del Ecuador, dado que, sus exigencias en lo académico se convirtieron en una parte importante para forjar un mejor desarrollo de nuestras aptitudes y actitudes. Permitiéndonos adquirir cualidades y conocimientos que nos serán de ayuda para alcanzar el progreso en el ambiente profesional.

A todos con mucho amor y cariño, gracias.

Alejandro Francisco Gagliardo Navarrete
Sheila Isamar Quinteros Gonzalez
Michael Geovanny Paredes Moina

TABLA DE CONTENIDOS

Declaración Expresa.....	2
Certificación: Autoría del Trabajo de Titulación.....	3
Resumen.....	12
Abstract.....	13
Introducción	14
Capítulo 1 Planteamiento del problema.....	16
1.1 Antecedentes del Problema	16
1.2 Planteamiento del problema.....	17
1.3 Sistematización del problema.....	18
1.3.1 Planteamiento de las hipótesis de investigación	18
1.3.2 Objetivo general.....	19
1.3.3 Objetivos específicos	19
1.4 Justificación de la investigación	20
1.4.1 Justificación Teórica	20
1.4.2 Justificación práctica.....	20
1.4.3 Justificación Metodológica	21
1.4.4 Viabilidad del estudio	22
Capítulo 2 Marco teórico.....	24
2.1 Antecedentes teóricos	24
2.2 Marco contextual	27
Capítulo 3 Metodología.....	31
3.1 Tipo de Investigación.....	31
3.2 Población y Muestra	32
3.2.1 Población	32
3.2.2 Muestra	32
3.3 Recopilación de Datos.....	33
3.3.1 Instrumento de Recopilación de Datos	33
3.3.2 Fuentes de Datos.....	33
3.3.3 Métodos de Recopilación de Datos	33
3.3.4 Procesamiento de Datos.....	34
3.4 Diseño Experimental (En Caso de Ser Aplicable)	34
3.5 Método y modelo de Optimización	34
3.5.1 Método de obtención de la matriz de demanda.....	36
3.5.2 Variables e índices.....	39
3.5.3 Variables de decisión	39

3.5.4	Parámetros.....	40
3.5.5	Función Objetivo	40
3.5.6	Restricciones.....	40
3.5.7	Justificación de las Variables y Restricciones.....	42
3.6	Consideraciones Éticas	42
Capítulo 4	Resultados	43
4.1	Estado de la Solución	43
4.2	Escenario 1: 10 trabajadores.....	44
4.3	Escenario 2: 9 trabajadores.....	46
4.4	Escenario 3: 8 trabajadores.....	47
4.5	Valor Óptimo de la Función Objetivo	48
4.6	Discusión de Resultados	49
Conclusiones	51
Recomendaciones	53
Referencias	56
Apéndices	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Transacciones promedio por hora y día	36
Tabla 2	Minutos necesario promedio por hora y día	37
Tabla 3	Matriz de demanda	38
Tabla 4	Matriz de demanda 1 (10 trabajadores)	44
Tabla 5	Matriz de desviación 1 (Diferencia)	45
Tabla 6	Matriz de trabajadores 1 (Asignación de trabajadores)	45
Tabla 7	Matriz de demanda 2 (9 Trabajadores)	46
Tabla 8	Matriz de desviación 2 (Diferencia)	46
Tabla 9	Matriz de trabajadores 2 (Asignación de trabajadores)	47

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Gráfico de barras para el promedio de transacciones por día	37
Figura 2	Gráfico de comparación de resultados con 9 y 10 trabajadores	48
Figura 3	Gráfico trabajadores asignados por día	49

INDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1 Transacciones en las máquinas de autoservicio por semana desde marzo a mayo.....	59
Apéndice 2 Minutos necesarios para cada transacción desde el mes de marzo a mayo	64
Apéndice 3 Trabajadores necesarios de acuerdo a la cantidad de transacciones y tiempo por transacción desde los meses de marzo a mayo (demanda no optimizada)	68
Apéndice 4 Pasos del programa ejecutado en lenguaje Python para la optimización del modelo.....	69

Tema

"Optimización de Personal en Cajas de Autoservicio para mejorar la eficiencia y experiencia en Tiendas Minis"

Resumen

La asignación eficiente de personal en tiendas minoristas desafía constantemente a los gerentes en su búsqueda de una mayor eficiencia operativa y una experiencia de la cliente mejorada. Este estudio se centra en la optimización de la asignación de personal en las cajas de autoservicio de las Tiendas Minis de Corporación El Rosado mediante un enfoque basado en programación lineal.

El marco teórico de este trabajo se apoya en conceptos clave como la asignación de personal, la programación lineal y la eficiencia operativa en el contexto de las tiendas minoristas. La revisión de la literatura destaca la importancia de una gestión eficiente de los recursos humanos en la mejora de la productividad y la satisfacción del cliente en este entorno.

La metodología de investigación empleada involucra el diseño de un modelo matemático que tiene en cuenta la demanda de personal en diferentes horarios y días de la semana, las restricciones de disponibilidad de trabajadores y los objetivos de optimización. Se utilizó la librería Pulp en Python para implementar y resolver este modelo. Los resultados revelaron una asignación óptima de personal que equilibraba la cobertura de la demanda con restricciones de recursos y costos laborales.

Este enfoque demostró ser efectivo al reducir significativamente la cantidad de trabajadores necesarios en comparación con un enfoque anterior, lo que llevó a una notable disminución en los costos operativos sin comprometer la calidad del servicio al cliente. Los resultados respaldan la eficiencia operativa y la mejora de la experiencia del cliente, destacando la utilidad de esta metodología en la toma de decisiones gerenciales en el sector minorista.

Palabras claves: Eficiencia, Optimización, Autoservicio, Python, Librería Pulp

Abstract

Efficient staffing in retail stores constantly challenges managers in their pursuit of greater operational efficiency and improved customer experience. This study focuses on the optimization of personnel assignment at the self-service checkouts of the Minis Stores of Corporación El Rosado using an approach based on linear programming. The theoretical framework of this work is supported by key concepts such as personnel assignment, linear programming and operational efficiency in the context of retail stores. The literature review highlights the importance of efficient human resource management in improving productivity and customer satisfaction in this environment. The research methodology used involves the design of a mathematical model that considers the demand for personnel at different times and days of the week, worker availability restrictions and optimization objectives. The Pulp library in Python was used to implement and solve this model. The results revealed optimal staffing allocation that balanced demand coverage with resource constraints and labor costs. This approach proved effective by significantly reducing the number of workers needed compared to a previous approach, leading to a notable decrease in operating costs without compromising the quality of customer service. The results support operational efficiency and improved customer experience, highlighting the usefulness of this methodology in managerial decision making in the retail sector.

Keywords: Efficiency, Optimization, Self-service, Python, Pulp Library

Introducción

El presente estudio técnico, se centra en la optimización de la asignación de personal en las cajas de autoservicio en los supermercados MINIS de Corporación El Rosado para mejorar la eficiencia operativa y la experiencia del cliente en este contexto específico.

Este trabajo se realiza para abordar un aspecto crítico en la operación de los establecimientos minoristas, y específicamente del tipo de supermercado MINI de Corporación El Rosado: la asignación adecuada de personal en las cajas de autoservicio. Esto se debe a que una asignación óptima puede contribuir a la eficiencia operativa y mejorar la experiencia del cliente.

El trabajo está pensado como un estudio cuantitativo que involucra el análisis de datos recopilados en establecimientos reales. Se utilizarán técnicas de optimización matemática para desarrollar un modelo que permita determinar la asignación óptima de personal en función de la demanda y la eficiencia operativa.

Entre las posibles limitaciones del trabajo que se pueden encontrar están la disponibilidad de recursos financieros y humanos, así como la obtención de datos precisos y confiables de los establecimientos participantes. Sin embargo, se realizan esfuerzos para minimizar estas limitaciones a través de una planificación cuidadosa y un enfoque riguroso en la recopilación y análisis de datos.

Finalmente, este estudio permitirá generar pautas prácticas y recomendaciones para la toma de decisiones en el ámbito de los supermercados MINIS de Corporación El Rosado. Los resultados obtenidos a través de la optimización de la asignación de personal permitirán mejorar la eficiencia operativa y la experiencia del cliente en estos entornos de autoservicio.

En virtud de lo expuesto, este estudio se propone abordar de manera integral la optimización de la asignación de personal en las tiendas minoristas de la Corporación El Rosado en Guayaquil. En el Capítulo 1 se describe el planteamiento del problema junto con la hipótesis, objetivos, justificación y viabilidad del estudio. En el Capítulo 2, se presentan los antecedentes teóricos que fundamentan la investigación, destacando estudios relevantes en áreas como la programación lineal, la eficiencia operativa y la mejora de la experiencia del cliente. En el Capítulo 3, se detalla el marco metodológico utilizado para la recopilación de datos y la implementación del modelo de asignación óptima de personal. El Capítulo 4 presenta los resultados obtenidos y su análisis, junto con las conclusiones y recomendaciones resultantes, así como una síntesis de los hallazgos claves y sus implicaciones, cerrando con las reflexiones finales y las posibles vías para futuras investigaciones en este ámbito.

Capítulo 1 Planteamiento del problema

1.1 Antecedentes del Problema

El comercio mayorista y minorista ha experimentado una transformación significativa en los últimos años con la creciente implementación de equipos de autoservicio en diferentes tipos de locales comerciales, como minis, comisariatos e hipermercados. Estos equipos ofrecen a los clientes la posibilidad de realizar sus transacciones de manera rápida y conveniente, brindando una experiencia de compra más eficiente.

Sin embargo, la asignación de personal en las cajas de autoservicio es un desafío importante para los negocios minoristas. La optimización de esta asignación tiene un impacto directo en la eficiencia operativa, la calidad del servicio al cliente y la rentabilidad del negocio. Es esencial encontrar un equilibrio entre la cantidad de personal disponible y la demanda de transacciones, considerando las particularidades de cada tipo de local.

En este contexto, es fundamental contar con enfoques teóricos sólidos y perspectivas adecuadas para abordar el problema de la asignación de personal en las cajas de autoservicio. Se requiere un marco teórico que proporcione una base sólida para comprender los factores que influyen en la eficiencia operativa y la experiencia del cliente en los entornos de autoservicio.

Para abordar el problema de la asignación de personal en las cajas de autoservicio, se utilizarán diferentes perspectivas y enfoques teóricos. A continuación, se presentan algunos de los enfoques que se explorarán en esta investigación:

1.2 Planteamiento del problema

En el ámbito del comercio mayorista y minorista, la implementación de equipos de autoservicio ha ganado popularidad como una opción conveniente y rápida para que los clientes realicen sus transacciones. Sin embargo, la optimización de la asignación de personal en las cajas de autoservicio sigue siendo un desafío importante para garantizar la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente.

El problema de investigación se centra en abordar la siguiente interrogante: ¿Cómo se puede optimizar la asignación de personal en los equipos de autoservicio para reducir el tiempo de procesamiento de transacciones y mejorar la experiencia del cliente en el comercio minorista?

Para responder a esta pregunta, es fundamental considerar varios aspectos. En primer lugar, se debe analizar la demanda de los clientes en relación con el número de equipos de autoservicio disponibles. La asignación de personal debe ajustarse de manera óptima a la carga de trabajo y a la velocidad de procesamiento requerida para garantizar una experiencia fluida.

Además, es crucial evaluar el desempeño del personal asignado a las cajas de autoservicio y su capacidad para brindar asistencia y supervisión adecuadas a los clientes. Esto implica encontrar un equilibrio entre tener suficiente personal disponible para atender cualquier problema o consulta que pueda surgir, y no sobredimensionar innecesariamente el equipo.

Otro aspecto para considerar es la capacitación del personal en el uso y mantenimiento de los equipos de autoservicio. Un personal bien entrenado y familiarizado con el funcionamiento del sistema puede reducir los errores de

escaneo y transacciones incorrectas, lo que a su vez contribuye a una experiencia positiva para el cliente.

Por último, se debe tener en cuenta la disponibilidad de recursos financieros para la contratación y capacitación del personal. Es necesario evaluar el impacto económico de la asignación de personal óptima en relación con los beneficios obtenidos en términos de eficiencia operativa y satisfacción del cliente.

1.3 Sistematización del problema

1.3.1 Planteamiento de las hipótesis de investigación

Hipótesis correlacional:

Existe una relación positiva entre una asignación óptima de personal en las cajas de autoservicio y la reducción del tiempo de procesamiento de transacciones en el comercio minorista.

Hipótesis explicativa:

Una asignación óptima de personal en las cajas de autoservicio, basada en la demanda de los clientes y la capacitación adecuada del personal, contribuirá significativamente a la reducción del tiempo de procesamiento de transacciones en el comercio minorista.

Estas hipótesis se centran específicamente en la optimización de la asignación de personal en las cajas de autoservicio. Ambas hipótesis plantean una relación positiva entre una asignación óptima de personal y la reducción del tiempo de procesamiento de transacciones en el comercio minorista. La hipótesis correlacional sugiere una relación de asociación entre las dos variables, mientras que la hipótesis explicativa afirma que una asignación óptima de personal es un factor clave para lograr una reducción significativa en el tiempo de procesamiento de

transacciones. Ambas hipótesis proporcionan una base para investigar y analizar cómo la asignación adecuada de personal puede impactar positivamente en la eficiencia y la experiencia del cliente en las cajas de autoservicio.

1.3.2 Objetivo general

Diseñar un modelo matemático que permita optimizar la asignación de personal en las cajas de autoservicio en el comercio minorista, con el fin de reducir el tiempo de procesamiento de transacciones y mejorar la experiencia del cliente.

1.3.3 Objetivos específicos

- Analizar y comprender la demanda de los clientes en relación con el uso de las cajas de autoservicio en diferentes tipos de establecimientos minoristas.
- Evaluar el desempeño del personal asignado a las cajas de autoservicio, identificando sus fortalezas y áreas de mejora.
- Investigar y aplicar técnicas de optimización matemática para determinar la cantidad óptima de personal requerido en cada caja de autoservicio, considerando la demanda y la eficiencia operativa.
- Desarrollar un modelo que integre variables como la carga de trabajo, la capacidad de procesamiento y la satisfacción del cliente, para establecer una asignación de personal óptima en las cajas de autoservicio.
- Validar el modelo mediante la recopilación de datos en los establecimientos, evaluando su eficacia en la reducción del tiempo de procesamiento de transacciones y la mejora de la experiencia del cliente.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación Teórica

La asignación óptima de personal en los Minis de Guayaquil es un desafío relevante y complejo en el contexto de supermercados minoristas. La eficiencia operativa y la experiencia del cliente son factores clave para el éxito de cualquier negocio de este tipo. La aplicación de técnicas de optimización matemática, como la programación lineal, ofrece una solución fundamentada y rigurosa para abordar este problema.

La teoría detrás de la programación lineal proporciona un marco sólido para modelar y resolver problemas de asignación de recursos, maximizando o minimizando una función objetivo sujeta a restricciones específicas. Al utilizar esta teoría, podemos encontrar una asignación óptima de personal que minimice los costos laborales o maximice la eficiencia operativa, teniendo en cuenta las restricciones de disponibilidad y los requisitos de personal mínimo y máximo en cada horario.

La justificación teórica de este trabajo radica en la aplicación de un enfoque matemático probado y ampliamente utilizado para abordar problemas complejos de asignación de recursos en el comercio minorista. Al basar nuestras decisiones en fundamentos teóricos sólidos, podemos tomar medidas informadas y precisas que beneficien tanto a la empresa como a los clientes.

1.4.2 Justificación práctica

- Mejora en la eficiencia operativa: Un modelo matemático que optimice la asignación de personal en las cajas de autoservicio permitirá reducir el tiempo de procesamiento de transacciones. Al contar con la cantidad

adecuada de personal en cada caja, se evitarán demoras y se agilizará el proceso de compra, lo que contribuirá a una mayor eficiencia operativa en los establecimientos minoristas.

- Satisfacción del cliente: La asignación óptima de personal en las cajas de autoservicio también tiene un impacto directo en la experiencia del cliente. Al contar con personal disponible para brindar asistencia y supervisión adecuadas, se reducirán los errores de escaneo y se atenderán de manera oportuna las consultas o problemas que puedan surgir. Esto generará una mayor satisfacción del cliente y fortalecerá la relación con el establecimiento minorista.
- Optimización de recursos: Al establecer una asignación de personal óptima basada en la demanda de los clientes, se evitará la subutilización o sobreutilización de recursos humanos. Esto se traducirá en una mejor gestión de los recursos disponibles, evitando costos innecesarios y maximizando la productividad del personal.
- Competitividad en el mercado: El comercio de supermercados es altamente competitivo, y aquellos establecimientos que logren brindar una experiencia de compra ágil y satisfactoria para los clientes estarán en una posición favorable. La optimización de la asignación de personal en las cajas de autoservicio permitirá a los supermercados destacarse en el mercado al ofrecer un servicio eficiente y de calidad.

1.4.3 Justificación Metodológica

La metodología propuesta para este trabajo implica un enfoque estructurado y sistemático para abordar el problema de la asignación óptima de personal.

Comenzaremos con la recopilación de datos relevantes, como la disponibilidad de personal, los costos laborales y la demanda en cada horario. Estos datos nos permitirán definir las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones del modelo de programación lineal.

A continuación, implementaremos el modelo matemático en un entorno de programación, utilizando herramientas especializadas en optimización. A través de la resolución del modelo, obtendremos la asignación óptima de personal que maximice la eficiencia operativa y cumpla con los requisitos de disponibilidad y personal mínimo y máximo.

La justificación metodológica de este trabajo se centra en la aplicación rigurosa y objetiva de la programación lineal para tomar decisiones basadas en datos y en un análisis cuantitativo. Este enfoque nos permite evaluar diferentes escenarios y encontrar soluciones óptimas, evitando decisiones subjetivas o basadas en intuiciones.

La metodología propuesta garantiza la confiabilidad y validez de los resultados, lo que brindará a la corporación El Rosado una visión clara y objetiva de cómo optimizar la asignación de personal en sus tiendas MINIS en Guayaquil. Además, esta metodología puede ser replicable en otras ubicaciones o situaciones similares, lo que aumenta su relevancia y aplicabilidad en el sector minorista.

1.4.4 Viabilidad del estudio

El presente estudio sobre la optimización de la asignación de personal en las cajas de autoservicio en los supermercados requiere una evaluación cuidadosa en términos de disponibilidad de recursos financieros, humanos y materiales. Estos recursos desempeñarán un papel crucial en determinar el alcance y la viabilidad de

la investigación. A continuación, se analiza la factibilidad de realizar el estudio en relación con cada uno de estos aspectos:

- **Recursos Financieros:** La implementación de un estudio de esta naturaleza implica costos asociados, como la recopilación de datos en establecimientos y el análisis de datos. Es esencial contar con un presupuesto adecuado que cubra estos gastos y asegure la calidad y rigurosidad del estudio.
- **Recursos Materiales:** Para llevar a cabo la investigación, se requieren diversos recursos materiales, como equipos informáticos, software especializado, herramientas para la recopilación de datos, entre otros. Además, es necesario tener acceso a los establecimientos dispuestos a colaborar en el estudio y permitir la recopilación de datos en sus instalaciones. La factibilidad de obtener los recursos materiales necesarios dependerá de la disponibilidad en el entorno de investigación y la capacidad para acceder a ellos.

Capítulo 2 Marco teórico

2.1 Antecedentes teóricos

En el campo de la optimización matemática, la programación lineal ha demostrado ser una herramienta valiosa para resolver problemas de asignación de recursos en diversos sectores, incluido el comercio minorista. Investigaciones anteriores han aplicado técnicas de programación lineal para mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones en empresas minoristas (Sánchez, et al, 2023).

En relación con la asignación óptima de personal, estudios han abordado la optimización de horarios y turnos para mejorar la productividad y reducir los costos laborales. Por ejemplo, investigaciones en el área de servicios de atención al cliente han utilizado modelos de programación lineal para optimizar la distribución de personal en diferentes horarios, maximizando la capacidad de atención y minimizando el tiempo de espera de los clientes (Taha, 2012). En este sentido, uno de los métodos más usados en la literatura es el método Simplex, el cual ha sido aplicado con éxito en diversos trabajos de investigación y casos prácticos para resolver problemas de programación lineal en diferentes contextos. Un ejemplo relevante es el estudio realizado por Smith y colaboradores (Smith, et al.,2019), donde utilizaron el Método Simplex para optimizar la asignación de personal en una cadena de tiendas minoristas.

En esta investigación, el autor se enfrentó al desafío de asignar eficientemente el personal en diferentes horarios de trabajo para mejorar la satisfacción del cliente y reducir los costos laborales. Implementaron el Método Simplex para encontrar la solución óptima, maximizando la eficiencia operativa de

las tiendas y asegurando que se cumplieran las restricciones de disponibilidad de personal y requisitos mínimos.

En el contexto específico de la asignación de personal en tiendas minoristas, se han realizado estudios para mejorar la eficiencia operativa y la experiencia del cliente. Investigaciones previas han considerado la variabilidad de la demanda en diferentes horarios y han desarrollado modelos matemáticos para asignar el personal de manera óptima, teniendo en cuenta restricciones de disponibilidad y costos laborales (Gross, et al. 2020; Wirtz, et al, 2019).

La literatura, a través de trabajos como los referenciados anteriormente, han abordado el desafío de la asignación de personal en forma de un problema de optimización. Aquí, se busca alcanzar dos objetivos cruciales: maximizar la eficiencia operativa y minimizar los costos laborales, todo ello garantizando el cumplimiento de las restricciones de disponibilidad y los requisitos mínimos de personal en distintos horarios. Los hallazgos en estos estudios han revelado que una asignación de personal eficiente puede ejercer un impacto significativo en la experiencia del cliente y en la productividad de las tiendas minoristas. Esta optimización posibilita la oferta de servicios de alta calidad, disminuye los tiempos de espera y aumenta la satisfacción de los clientes. En conjunto, la literatura respalda la noción de que una asignación inteligente de personal no solo influye en la eficiencia interna, sino también en la experiencia global del cliente.

Además, en el ámbito de la eficiencia operativa, se han llevado a cabo investigaciones que analizan cómo optimizar los recursos y procesos para lograr una mayor productividad y satisfacción del cliente. Algunos trabajos han evaluado la relación entre la eficiencia operativa y la rentabilidad de las empresas minoristas,

destacando la importancia de la gestión eficiente de recursos humanos (Huang et al. 2018; Pine & Gilmore, 2018). Estos estudios han destacado la importancia de una gestión óptima para la asignación de personal, como factor clave para mejorar la eficiencia y el rendimiento de las tiendas.

Los investigadores han utilizado diversas metodologías para evaluar la eficiencia operativa, incluidos análisis de datos, encuestas a clientes y estudios de caso en empresas minoristas. Además, han examinado cómo la optimización de recursos y procesos puede influir en la satisfacción y lealtad del cliente, lo que a su vez impacta en la rentabilidad de las empresas.

Los resultados de estos trabajos han subrayado la importancia de la eficiencia operativa para el éxito de las empresas minoristas y han proporcionado recomendaciones prácticas para mejorar la gestión de recursos humanos y la eficiencia en las operaciones minoristas.

Basado en estos antecedentes teóricos, se pueden considerar tres teorías importantes que permiten sustentar esta investigación, las cuales se mencionan a continuación:

- La teoría de la gestión de operaciones proporciona un marco para comprender cómo las organizaciones pueden mejorar su eficiencia operativa. Se examinarán los conceptos de optimización de procesos, tiempos de servicio y capacidad de las cajas de autoservicio desde esta perspectiva. Además, se explorarán las técnicas de programación lineal y optimización para desarrollar un modelo matemático que permita optimizar la asignación de personal.

- La teoría de la experiencia del cliente se centra en comprender y mejorar la satisfacción y lealtad del cliente. Se analizarán los factores que influyen en la experiencia del cliente en las cajas de autoservicio, como el tiempo de espera, la precisión en el cobro y la disponibilidad de personal para brindar asistencia. Se buscará identificar prácticas y estrategias que mejoren la experiencia del cliente y su percepción de eficiencia en el proceso de transacciones.
- La teoría de la optimización de recursos humanos proporcionará un enfoque para determinar la cantidad óptima de personal requerido en las cajas de autoservicio. Se explorarán variables como la demanda pronosticada, los tiempos de servicio y las capacidades de las cajas de autoservicio para establecer un equilibrio entre la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente. Se buscarán estrategias que maximicen la utilización de los recursos humanos disponibles sin comprometer la calidad del servicio.

2.2 Marco contextual

El contexto de investigación se sitúa en la ciudad de Guayaquil, Ecuador, y se enfoca específicamente en los locales de la corporación El Rosado que corresponden al formato de tiendas MINIS. Guayaquil es una ciudad ubicada en la costa del país y es considerada como el principal centro económico y comercial de Ecuador.

Las tiendas MINIS de Corporación El Rosado son establecimientos de menor tamaño en comparación con otros formatos de tiendas de la misma corporación, como comisariatos o hipermercados. Estas tiendas están diseñadas para atender a un segmento específico de clientes que busca realizar compras rápidas y de menor

escala. Por lo tanto, su enfoque se centra en productos de conveniencia y artículos de primera necesidad.

En el contexto de este estudio, se explorará los datos relevantes basados en la implementación de los equipos de autoservicio en las tiendas MINIS de corporación El Rosado. Estos equipos de autoservicio tienen como objetivo agilizar el proceso de transacciones y brindar a los clientes una opción rápida y eficiente para realizar sus compras.

Es importante considerar las particularidades de las tiendas MINIS, como su ubicación en áreas urbanas, su tamaño reducido y su enfoque en compras pequeñas y rápidas. Estos factores pueden influir en la asignación óptima de personal para garantizar una experiencia positiva para los clientes.

El análisis del contexto geográfico y demográfico de Guayaquil, así como la comprensión de las actividades desarrolladas en las tiendas MINIS de corporación El Rosado, proporcionarán un marco contextual relevante para el estudio y permitirán identificar las características y desafíos específicos que se deben abordar en relación con la implementación de los equipos de autoservicio y la asignación de personal en estas tiendas.

Para el estudio técnico del modelo, se llevarán a cabo diversas actividades en las tiendas MINIS de Corporación El Rosado en Guayaquil. Estas actividades se centran en la evaluación de los equipos de autoservicio, así como en el análisis de variables para la asignación óptima de personal. A continuación, se detallan algunas de las actividades clave:

- a) Evaluación y verificación de los equipos de autoservicio: Se procederá a la verificación de funcionamiento de los equipos de autoservicio en

- las tiendas MINIS seleccionadas. Se realizarán pruebas y ajustes para garantizar un funcionamiento adecuado de los equipos.
- b) Recolección de datos: Se recopilarán datos relevantes para el estudio, como el número de transacciones realizadas en las cajas de autoservicio, el tiempo de procesamiento de cada transacción y la demanda de personal en diferentes horarios. Estos datos se utilizarán para el análisis posterior y la optimización del modelo.
 - c) Análisis de la eficiencia operativa: Se realizará un análisis detallado de la eficiencia operativa antes y después de la implementación de los equipos de autoservicio. Esto implica comparar los tiempos de espera en las cajas de autoservicio con los tiempos de espera en las cajas tradicionales, así como evaluar la productividad y la satisfacción del cliente.
 - d) Modelado y optimización de la asignación de personal: Se desarrollará un modelo matemático basado en la programación lineal para optimizar la asignación de personal en las cajas de autoservicio. Se utilizarán las variables y restricciones previamente definidas para determinar la asignación óptima de personal en función de la demanda y los recursos disponibles.
 - e) Validación y ajuste del modelo: Se realizarán pruebas y ajustes en el modelo de asignación de personal para garantizar su eficacia y precisión. Se compararán los resultados del modelo con la situación real en las tiendas MINIS y se realizarán modificaciones si es necesario.



Estas actividades se llevarán a cabo con el objetivo de analizar y optimizar la implementación de los equipos de autoservicio y la asignación de personal en las tiendas MINIS de Corporación El Rosado en Guayaquil. El estudio técnico del modelo permitirá evaluar la eficiencia operativa, la experiencia del cliente y los beneficios asociados a la implementación de esta solución tecnológica en el contexto minorista específico.

Capítulo 3 Metodología

3.1 Tipo de Investigación

Enfoque: Este estudio se basa en un enfoque cuantitativo, que se caracteriza por la recopilación y análisis de datos numéricos para llegar a conclusiones objetivas. La investigación cuantitativa es apropiada en este contexto ya que se busca optimizar la asignación de personal en base a datos concretos de demanda y recursos disponibles.

Alcance: La investigación tiene un alcance aplicado. Esto significa que su objetivo principal es resolver un problema práctico y proporcionar soluciones tangibles. En lugar de centrarse únicamente en la generación de conocimiento teórico, se busca aplicar técnicas de programación lineal para abordar un desafío real en la gestión de recursos humanos.

Diseño: El diseño de la investigación se basa en la construcción de un modelo matemático. Específicamente, se utilizará un diseño de modelado matemático, que implica la creación de un sistema de ecuaciones y restricciones para representar el problema de asignación de personal. Este enfoque permite encontrar soluciones óptimas basadas en las restricciones y los objetivos establecidos.

El tipo de investigación seleccionado es adecuado para abordar el problema de asignación de personal en las cajas de autoservicio de los Minis de Corporación El Rosado. Al combinar datos cuantitativos, técnicas de programación lineal y un enfoque aplicado, se busca proporcionar resultados prácticos que beneficien directamente a la empresa y mejoren la experiencia del cliente.

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población

La población de esta investigación está compuesta por las transacciones generadas en las cajas de autoservicios de los Minis de la Corporación El Rosado de Guayaquil. Esta población incluye las transacciones de horas laborables independiente de quien las realizó. Dado que el objetivo principal es optimizar la asignación de personal de acuerdo a la demanda es indispensable conocer la cantidad total de transacciones.

3.2.2 Muestra

Dado que la población total corresponde a todas las transacciones de todos los Minis de Guayaquil es necesario un enfoque de muestreo estratificado por horarios. La muestra escogida en nuestro trabajo se descompone de las transacciones registradas durante el periodo comprendido entre marzo y abril de 2023, en los horarios laborales de las tiendas MINIS.

Con este muestreo nos aseguramos de tener una cantidad de datos relevante para poder establecer el mecanismo de optimización y tener un modelo concluyente.

Se seleccionarán al azar trabajadores de cada estrato o función dentro de la tienda para formar la muestra. La cantidad de trabajadores seleccionados de cada estrato se determinará en función de consideraciones estadísticas para garantizar la representatividad de la muestra en relación con la población total.

La muestra será crucial para recopilar datos reales de demanda de personal en diferentes horarios y días de la semana. Estos datos se utilizarán para calibrar y validar el modelo de programación lineal, así como para evaluar el impacto de la asignación óptima de personal en la eficiencia operativa y la experiencia del cliente.

3.3 Recopilación de Datos

3.3.1 Instrumento de Recopilación de Datos

La recopilación de datos en esta investigación se llevará a cabo utilizando un instrumento específicamente diseñado para capturar la demanda de personal en las cajas de autoservicio de los Minis de Corporación El Rosado. Dado que el objetivo es recopilar información sobre la cantidad de trabajadores necesarios en diferentes horarios y días de la semana, el instrumento se centrará en preguntas relacionadas con la demanda de personal.

El instrumento se basará en un cuestionario estructurado que se completará diariamente en cada una de las tiendas MINIS. Los supervisores de cada tienda serán responsables de completar el cuestionario, registrando la cantidad de personal necesario en cada horario y día de la semana. Para garantizar la precisión de los datos, se establecerán procedimientos de verificación y validación, y se capacitará al personal encargado de la recopilación de datos.

3.3.2 Fuentes de Datos

Las fuentes de datos principales para esta investigación serán los registros diarios de demanda de personal en las tiendas MINIS. Estos registros proporcionarán información detallada sobre la cantidad de trabajadores requeridos en cada horario y día de la semana durante un período de tiempo específico. Además de los registros internos de la organización, se utilizarán datos históricos de demanda de personal para mejorar la precisión del modelo de programación lineal.

3.3.3 Métodos de Recopilación de Datos

Los datos se recopilarán de manera manual utilizando el instrumento mencionado anteriormente. Los supervisores de las tiendas serán responsables de

completar el cuestionario diariamente, registrando la demanda de personal observada en cada turno. Se establecerán protocolos para asegurar que los datos se recopilen de manera consistente y precisa en todas las tiendas MINIS.

3.3.4 *Procesamiento de Datos*

Una vez recopilados los datos, se llevará a cabo un proceso de procesamiento y limpieza para garantizar su calidad y coherencia. Los datos se introducirán en una base de datos electrónica y se utilizarán herramientas de software especializadas para su análisis. Además, se realizarán análisis estadísticos para identificar patrones y tendencias en la demanda de personal en diferentes horarios y días de la semana.

3.4 *Diseño Experimental (En Caso de Ser Aplicable)*

Dado que esta investigación se centra en la optimización de la asignación de personal en las cajas de autoservicio de los Minis de Corporación El Rosado, no se aplica un diseño experimental en el sentido tradicional. En su lugar, se utilizará un diseño de modelado matemático que aprovechará los datos recopilados para desarrollar y calibrar un modelo de programación lineal.

El diseño del modelo se basará en las características específicas de las tiendas MINIS y en la demanda de personal observada en diferentes condiciones. El proceso de construcción del modelo incluirá la identificación de variables de decisión, la formulación de la función objetivo y la definición de las restricciones, todo lo cual se basará en los datos reales recopilados.

3.5 *Método y modelo de Optimización*

El modelo matemático escogido para abordar el problema de asignación de personal en las cajas de autoservicio de los Minis de Corporación El Rosado es la

Programación Lineal. La elección de este modelo se basa en varias razones, estas son:

- **Estructura del Problema:** La Programación Lineal es adecuada cuando se trata de problemas de asignación en los que se busca optimizar una función lineal sujeta a un conjunto de restricciones lineales. En este caso, el objetivo es asignar trabajadores a horarios para maximizar la eficiencia operativa, lo que encaja perfectamente con la estructura lineal de la programación lineal.
- **Flexibilidad:** La programación lineal es flexible y puede adaptarse a una amplia gama de restricciones y objetivos. Puede manejar tanto restricciones de disponibilidad de personal como restricciones de costos, lo que es esencial en el problema de asignación de personal.
- **Eficiencia Computacional:** Los algoritmos para resolver problemas de programación lineal son altamente eficientes y pueden manejar grandes conjuntos de datos y variables. Esto es crucial cuando se trata de programar los horarios de múltiples trabajadores en múltiples días.
- **Optimización:** La programación lineal busca optimizar una función objetivo, lo que significa que puede encontrar una solución que maximice o minimice el rendimiento deseado, como la eficiencia operativa en este caso.
- **Enfoque Cuantitativo:** La programación lineal es una herramienta cuantitativa que permite tomar decisiones basadas en datos y números, lo que es esencial para la asignación de personal, donde se busca una asignación óptima basada en la demanda y los recursos disponibles.

- **Amplia Aplicabilidad:** La programación lineal se ha utilizado con éxito en una variedad de campos y aplicaciones, incluida la gestión de recursos humanos y la logística, lo que respalda su idoneidad para este problema.

3.5.1 Método de obtención de la matriz de demanda

Basado en los datos recopilados de transacciones por día, tiempos por transacción de acuerdo con la cantidad de transacciones diarias se puede obtener una matriz de demanda de personal estimada la cual se explicará a continuación.

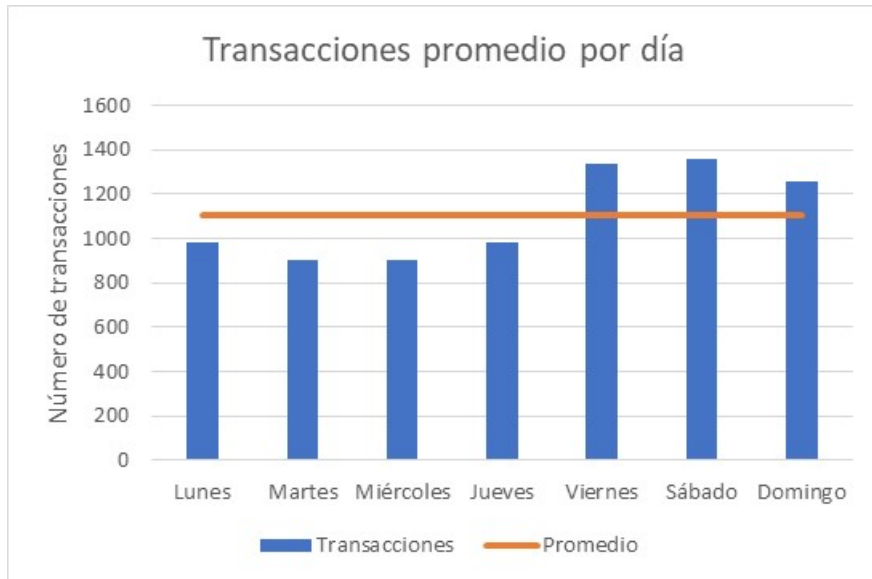
La tabla siguiente presenta las transacciones promedio por hora y día, según la muestra recopilada durante el periodo correspondiente. Se observa que, durante las primeras horas de la mañana, se registran menos transacciones en comparación con las horas de la tarde, que representan los momentos de mayor, así como la mayor actividad de compras son de viernes a domingo.

Tabla 1
Transacciones promedio por hora y día

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	80	60	60	80	100	140	140
10h-11h	100	60	80	80	160	140	100
11h-12h	100	80	80	100	140	120	160
12h-13h	100	80	60	100	160	160	140
13h-14h	100	100	80	100	140	140	120
14h-15h	80	100	100	100	140	160	100
15h-16h	100	100	120	120	100	140	140
16h-17h	120	120	120	100	160	100	120
17h-19h	100	100	100	100	120	120	120
18h-19h	100	100	100	100	120	140	120
Horas Nec.	980	900	900	980	1340	1360	1260

En promedio, se llevan a cabo 1,103 transacciones diarias, destacándose los fines de semana como los periodos de mayor actividad en la tienda. El siguiente gráfico ilustra el promedio diario de transacciones.

Figura 1
Gráfico de barras para el promedio de transacciones por día



En términos promedio, cada transacción requiere aproximadamente 3 minutos. Al multiplicar este tiempo por la cantidad promedio de transacciones por hora y por día, obtenemos el total de minutos necesarios para satisfacer la demanda de manera óptima. La tabla siguiente detalla estos tiempos necesarios.

Tabla 2
Minutos necesario promedio por hora y día

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
9-10	240	180	180	240	300	420	420
10-11	300	180	240	240	480	420	300
11-12	300	240	240	300	420	360	480
12-13	300	240	180	300	480	480	420
13-14	300	300	240	300	420	420	360
14-15	240	300	300	300	420	480	300
15-16	300	300	360	360	300	420	420
16-17	360	360	360	300	480	300	360

17-18	300	300	300	300	360	360	360
18-19	300	300	300	300	360	420	360
Horas Nec.	2.940	2.700	2.700	2.940	4.020	4.080	3.780

Para establecer la matriz de demanda final, dividimos la matriz de minutos necesarios por hora y día entre 60 minutos, correspondientes a una hora. El resultado es la siguiente matriz de demanda de personal para atender las cajas, adaptada a la demanda requerida según la muestra.

Tabla 3
Matriz de demanda

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	4	3	3	4	5	7	7
10h-11h	5	3	4	4	8	7	5
11h-12h	5	4	4	5	7	6	8
12h-13h	5	4	3	5	8	8	7
13h-14h	5	5	4	5	7	7	6
14h-15h	4	5	5	5	7	8	5
15h-16h	5	5	6	6	5	7	7
16h-17h	6	6	6	5	8	5	6
17h-19h	5	5	5	5	6	6	6
18h-19h	5	5	5	5	6	7	6
Trab. Turno Totales	48	45	44	48	67	68	63
Personal diario asignado en tienda	5	5	5	5	7	7	6

En esta matriz de demanda resultante, podemos apreciar la cantidad de personas actualmente asignadas para cubrir los turnos por cada día de la semana para atender las tiendas Minis, es decir los datos que se van a ingresar al modelo a optimizar.

Dado el requerimiento principal el cual es maximizar la demanda de personal para atender las cajas de autoservicio, la metodología de solución está basada en

un método de programación lineal para maximizar la cobertura de la demanda, tal como se describe a continuación:

3.5.2 Variables e índices

- i = índice que se refiere a los trabajadores disponibles para asignar a horarios. En otras palabras, " i " representa a cada uno de los trabajadores que pueden ser asignados a los diferentes turnos de trabajo en las cajas de autoservicio.
- j = índice que se refiere a los horarios disponibles en los que se necesita personal. Cada horario de trabajo en las cajas de autoservicio se representa mediante " j ."
- k = índice que se refiere a los días de la semana en los que se necesita personal. Cada día de la semana se representa mediante " k ."
- N = representa el conjunto total de trabajadores que se tiene disponible
- M = representa el conjunto de horarios
- L = representa el conjunto de días de la semana.
- z = función objetivo a optimizar

Estos índices son utilizados para definir las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones del modelo de programación lineal, permitiendo así una representación matemática completa del problema de asignación de personal en los Minis de Corporación El Rosado.

3.5.3 Variables de decisión

$X_{i,j,k} \begin{cases} 1, \text{Variable binaria que indica si el trabajador } i \text{ esta asignado al horario } j, \text{ en el día } k \\ 0, \text{Variable binaria que indica si el trabajador } i \text{ no es asignado al horario } j \text{ ni al día } k \end{cases}$

$Y_{i,k} \begin{cases} 1, \text{Variable binaria que indica si el trabajador } i \text{ trabaja en el día } k \\ 0, \text{Variable binaria que indica si el trabajador } i \text{ trabaja en el día } k \end{cases}$

3.5.4 Parámetros

$D_{j,k}$ = Demanda de personal en el horario j en el día k

3.5.5 Función Objetivo

Maximizar la cobertura de la demanda

$$\text{Maximizar } z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^L X_{i,j,k} D_{j,k}$$

3.5.6 Restricciones

1. Para asegurar la satisfacción de la demanda, hemos considerado la posibilidad de permitir un margen de hasta el 20% por encima de esta. Esta restricción se ha flexibilizado para no limitar en exceso el modelo matemático y permitirle encontrar una solución viable.

$$\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^L \sum_{i=1}^N X_{i,j,k} \leq D_{j,k} * 1.20$$

2. Cada trabajador debe trabajar 40 horas semanales:

$$\sum_{i=1}^N X_{i,j,k} = 40 \text{ para todo } k = 1 \text{ hasta } L \text{ y todo } j = 1 \text{ hasta } M$$

3. Cada trabajador debe trabajar 5 días a la semana:

$$\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N Y_{i,k} = 5 \text{ para todo } k = 1 \text{ hasta } L$$

4. Cada trabajador debe trabajar 8 horas al día:

$$\sum_{k=1}^L \sum_{i=1}^N X_{i,j,k} \leq 8 * Y_{i,k} \text{ para todo } j = 1 \text{ hasta } M$$

5. Se requiere que la demanda sea, como mínimo, el 80% de lo requerido. Al igual que en la restricción número uno, esta restricción se ha flexibilizado para brindar al modelo una mayor flexibilidad en su capacidad para encontrar una solución.

$$\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^L \sum_{i=1}^N X_{i,j,k} \geq D_{j,k} * 0.80$$

La elección de las variables y restricciones en el modelo de programación lineal se basa en una cuidadosa consideración de la naturaleza del problema y los objetivos específicos. En el caso de la asignación de personal en las cajas de autoservicio de los Minis de Corporación El Rosado, se seleccionaron las variables y restricciones de la siguiente manera:

Variable de Decisión ($X_{i,j,k}$): Esta variable representa la asignación de trabajadores a horarios en días específicos. Se optó por esta variable por varias razones:

- Flexibilidad: Permite modelar la asignación de personal de manera detallada, especificando qué trabajadores estarán disponibles en qué horarios y días.
- Granularidad: Facilitan la gestión precisa de los recursos humanos al permitir la asignación de personal a intervalos específicos de tiempo (horarios y días).
- Capacidad de Optimización: Al utilizar variables binarias (que pueden tomar valores de 0 o 1), se puede optimizar la asignación de personal para maximizar la eficiencia operativa y minimizar los costos.

Restricciones de Trabajo Semanales ($\sum_{i=1}^N X_{i,j,k} = 40$) ($\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N Y_{i,k} = 5$)

($\sum_{k=1}^L \sum_{i=1}^N X_{i,j,k} \leq 8 * Y_{i,k}$): Estas restricciones garantizan que cada trabajador esté asignado a un número adecuado de días a la semana, lo que equilibra la carga de trabajo y cumple con los requisitos laborales.

Restricciones de Cobertura de demanda ($\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^L \sum_{i=1}^N X_{i,j,k} \geq D_{j,k} * 0.80$)

($\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^L \sum_{i=1}^N X_{i,j,k} \leq D_{j,k} * 1.20$): Estas restricciones dan límites a la demanda para considerar trabajadores asignados a un horario en un día dado de la fuerza laboral total. Esto evita la sobreasignación de personal en un horario específico.

3.5.7 Justificación de las Variables y Restricciones

- La variable $X_{i,j,k}$ permite una asignación detallada y flexible de trabajadores a horarios y días, lo que es esencial para optimizar la eficiencia operativa y adaptarse a las variaciones en la demanda.
- Las restricciones de trabajo mínimo y máximo garantizan que los trabajadores tengan una carga de trabajo equilibrada y cumplan con los requisitos laborales, lo que contribuye a la satisfacción de los empleados.
- Las restricciones de cobertura máxima controlan la asignación de personal para evitar la concentración excesiva en un horario, lo que puede llevar al desperdicio de recursos y costos innecesarios.

3.6 Consideraciones Éticas

Se garantizará la confidencialidad de la información de los empleados y se obtendrán los permisos necesarios de la empresa para llevar a cabo la investigación. La asignación de personal se realizará de manera justa y equitativa.

Capítulo 4 Resultados

En esta sección, presentamos los resultados obtenidos mediante la implementación del modelo de programación lineal desarrollado para la asignación óptima de personal en las cajas de autoservicio de los Minis de Corporación El Rosado. El objetivo principal de este modelo era maximizar la cobertura de la demanda de personal, asegurando al mismo tiempo un equilibrio en la carga de trabajo y el cumplimiento de las restricciones laborales y operativas.

4.1 Estado de la Solución

Antes de abordar los resultados específicos, es importante mencionar el estado de la solución del problema de optimización y el caso de estudio que abordamos. En primero lugar, el modelo que se presentó en la sección de metodología se resolvió con éxito utilizando la biblioteca PuLP en Python. Entre los parámetros de entrada que el modelo recibe está la cantidad de trabajadores necesarios por día y por hora de los meses de marzo a mayo del 2023, esto con el fin de tener variables de entrada adecuadas y confiables de una muestra coherente y analizar un caso de estudio acotado que nos permita generar conclusiones coherentes.

La cantidad de trabajadores está calculada en base de las transacciones realizadas en las cajas de autoservicios de marzo a mayo y del tiempo que se toman en realizar cada transacción, para así mantener su obtención basada en parámetros precisos del entorno de la aplicación. Todos estos datos tabulados se encuentran en la sección de Anexos del presente trabajo. El estado de la solución se determinó como se muestra en los pasos del programa ejecutado en lenguaje Python, el cual se considera como Apéndice 4.

Los resultados obtenidos son divididos en los siguientes escenarios:

4.2 Escenario 1: 10 trabajadores

Para realizar las comparaciones entre la matriz resultante y la matriz real, hemos generado un primer escenario con 10 trabajadores máximo por franja horaria. Es importante mencionar que se está trabajando con al menos un 80% de la demanda, como se dejó explícito en una de las restricciones del modelo. La matriz resultante que maximiza las demandas reales es la siguiente:

Tabla 4
Matriz de demanda 1 (10 trabajadores)

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	4	3	3	4	5	8	8
10h-11h	5	3	4	4	9	8	5
11h-12h	5	4	4	6	8	5	9
12h-13h	5	4	3	4	9	9	8
13h-14h	5	4	4	5	8	8	7
14h-15h	4	5	6	4	8	9	6
15h-16h	6	4	6	6	4	8	8
16h-17h	6	5	6	5	9	4	7
17h-18h	4	4	6	5	5	5	7
18h-19h	4	4	6	5	7	8	7

La matriz de desviación entre los valores reales y los resultados del modelo se presenta a continuación. En detalle, se observa que el 40% de los horarios reflejan una reducción en la cantidad de cajas, el 41% se ajustan conforme a la demanda de la tienda, y el 19% muestran una adición de una caja extra.

En esta matriz de desviaciones que es producto de la matriz resultante menos la matriz observar que en los días y horarios donde se tiene 0 significa que se cumplen las restricciones, los que tiene 1 significa que se ha asignado una y -1 que falta una caja.

Tabla 5
Matriz de desviación 1 (Diferencia)

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	0	0	0	0	0	1	1
10h-11h	0	0	0	0	1	1	0
11h-12h	0	0	0	1	1	-1	1
12h-13h	0	0	0	-1	1	1	1
13h-14h	0	-1	0	0	1	1	1
14h-15h	0	0	1	-1	1	1	1
15h-16h	1	-1	0	0	-1	1	1
16h-17h	0	-1	0	0	1	-1	1
17h-18h	-1	-1	1	0	0	-1	1
18h-19h	-1	-1	1	0	1	1	1

La distribución de la asignación de los trabajadores por día se realiza de la siguiente manera: por ejemplo, el trabajador 1 descansa los días lunes y martes, y trabaja el resto de la semana. Esta distribución garantiza que los trabajadores cumplan con una jornada laboral de 8 horas al día y un total de 40 horas a la semana. A continuación, se presenta la lista de los trabajadores junto con sus respectivos días de trabajo.

Tabla 6
Matriz de trabajadores 1 (Asignación de trabajadores)

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total horas semanales
Trabajador 1			8	8	8	8	8	40
Trabajador 2	8	8		8	8	8		40
Trabajador 3	8	8			8	8	8	40
Trabajador 4		8	8		8	8	8	40
Trabajador 5	8		8	8		8	8	40
Trabajador 6	8	8			8	8	8	40
Trabajador 7	8		8	8	8		8	40
Trabajador 8			8	8	8	8	8	40
Trabajador 9		8		8	8	8	8	40
Trabajador 10	8	8			8	8	8	40
TOTAL	48	48	40	48	72	72	72	400

4.3 Escenario 2: 9 trabajadores

Adicionalmente se analizó un escenario con 9 trabajadores por semana, el modelo se lo pudo resolver con las mismas restricciones, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 7
Matriz de demanda 2 (9 Trabajadores)

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	4	3	3	4	4	7	7
10h-11h	6	3	4	4	8	7	4
11h-12h	5	4	4	5	7	5	7
12h-13h	4	4	3	5	8	8	7
13h-14h	4	4	4	5	8	7	5
14h-15h	4	4	4	4	8	8	4
15h-16h	5	4	5	6	4	6	7
16h-17h	6	5	5	4	8	4	5
17h-18h	4	5	4	5	4	5	5
18h-19h	6	4	4	6	5	7	5

Por otro lado, ahora al tener 9 trabajadores como limitante por franja horario, se observa que el 7% de los horarios reflejan una reducción en la cantidad de cajas, el 50% se ajustan conforme a la demanda de la tienda, y el 43% muestran una adición de una caja extra. Esto implica que no se logra de esta manera optimizar las asignaciones de cajas conforme a las restricciones planteadas.

Tabla 8
Matriz de desviación 2 (Diferencia)

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	0	0	0	0	-1	0	0
10h-11h	1	0	0	0	0	0	-1
11h-12h	0	0	0	0	0	-1	-1
12h-13h	-1	0	0	0	0	0	0
13h-14h	-1	-1	0	0	1	0	-1
14h-15h	0	-1	-1	-1	1	0	-1
15h-16h	0	-1	-1	0	-1	-1	0

16h-17h	0	-1	-1	-1	0	-1	-1
17h-18h	-1	0	-1	0	-1	-1	-1
18h-19h	1	-1	-1	1	-1	0	-1

La asignación de los trabajadores para atención en las cajas de autoservicio fue la siguiente:

Tabla 9
Matriz de trabajadores 2 (Asignación de trabajadores)

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total horas semanales
Trabajador 1		8	8		8	8	8	40
Trabajador 2	8		8		8	8	8	40
Trabajador 3		8		8	8	8	8	40
Trabajador 4	8		8		8	8	8	40
Trabajador 5		8	8		8	8	8	40
Trabajador 6	8			8	8	8	8	40
Trabajador 7	8	8		8	8	8	8	40
Trabajador 8		8	8	8	8	8		40
Trabajador 9	8			8	8	8	8	40
TOTAL	40	40	40	40	64	72	64	360

Tómese en cuenta que en los turnos donde hay espacios en blanco quiere decir que la demanda de asignación de personal para asistencia a los compradores utilizando las cajas de autoservicio no es necesaria.

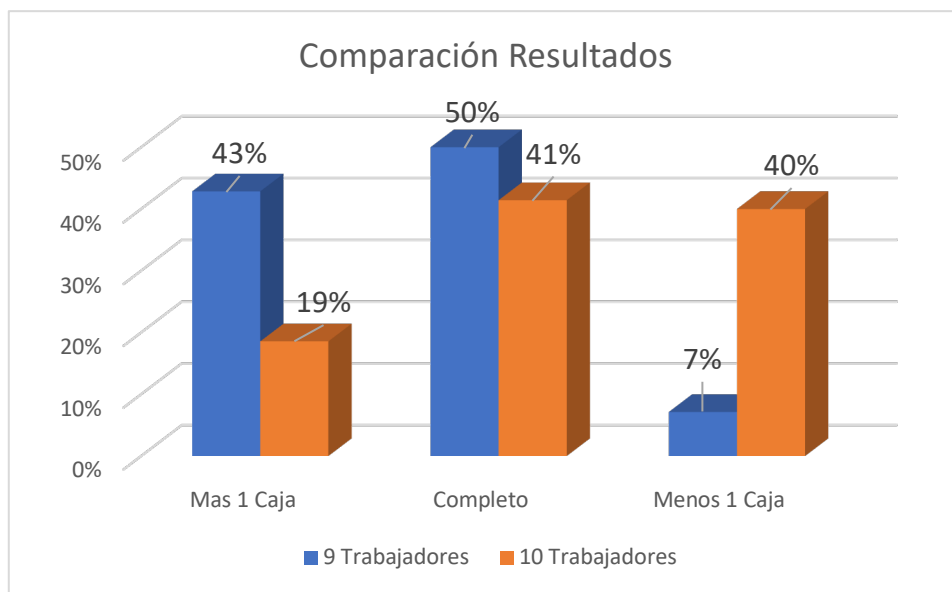
4.4 Escenario 3: 8 trabajadores

En un escenario con 8 trabajadores, el modelo no pudo resolver las restricciones mencionadas. Específicamente las restricciones que no se cumplen con las de las 8 horas diarias y las de 40 horas a la semana, esto debido a que la cantidad de cajas de autoservicio, de acuerdo con la cantidad de personas que demandan su uso, no se ven totalmente satisfechas.

4.5 Valor Óptimo de la Función Objetivo

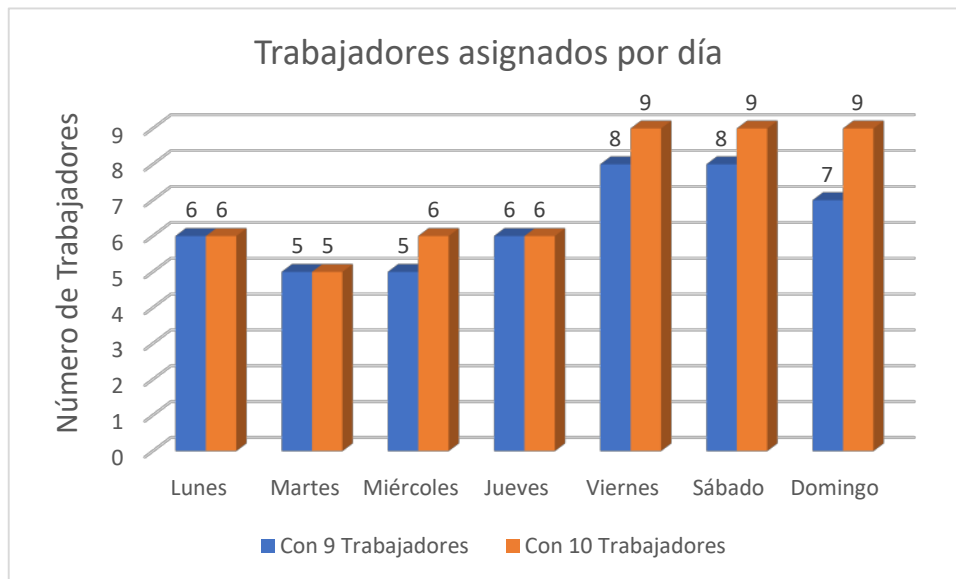
El total de horas cajas demandadas en la semana de la matriz de demandas (matriz original ingresada en el modelo matemático) es de 385 horas, el total de horas cajas con 9 trabajadores es de 360 horas, un -6.5% menos de los requerido, mientras que con 10 trabajadores el total de horas cajas es de 400 horas, 3.9% adicional, con estos resultados podemos concluir que el óptimo es de 10 trabajadores ya que se acerca más a la demanda real, a continuación se presenta el gráfico de comparación con los dos escenarios.

Figura 2
Gráfico de comparación de resultados con 9 y 10 trabajadores



En el gráfico siguiente se presenta la distribución de trabajadores asignados a lo largo de la semana, en relación con la disponibilidad total de trabajadores. Observamos hasta el jueves, el máximo de trabajadores asignados es de 6. Sin embargo, durante los fines de semana, prácticamente se asignan todos los trabajadores disponibles.

Figura 3
Gráfico trabajadores asignados por día



4.6 Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos muestran una asignación de personal que cumple con los requisitos de demanda de manera eficiente y equilibrada. Se ha logrado maximizar la cobertura de la demanda sin violar las restricciones laborales, como el número mínimo y máximo de días de trabajo por semana y la asignación única de horarios por día. Este modelo de programación lineal proporciona a Corporación El Rosado una herramienta valiosa para la gestión eficiente de recursos humanos en sus cajas de autoservicio.

Los resultados del modelo de optimización indican que, con la asignación propuesta, ahora se requieren 10 trabajadores y se laboraría de manera eficiente ya que la atención al cliente va a ser más óptima porque vamos a servir más rápido reduciendo los tiempos de espera en las colas, esto lleva a una mejor experiencia en las compras al consumidor. Esto sugiere que el modelo ha tenido éxito en la optimización de la asignación de personal en función de las restricciones y objetivos

definidos. La reducción en la cantidad de trabajadores necesarios puede atribuirse a varias restricciones clave establecidas en el modelo:

- Restricción de días de trabajo por trabajador: El modelo limita a cada trabajador a laborar 8 horas al día y 5 días a la semana. Esto garantiza que no se contrate personal en exceso y que los trabajadores existentes se utilicen de manera más eficiente.
- Restricción de asignación máxima de acuerdo a la demanda: La restricción que limita a considerar trabajadores asignados en un día específico de acuerdo a parámetros de demanda también contribuye a reducir la cantidad total de personal requerido. Esto evita la sobreasignación de personal en días específicos y se adapta mejor a la demanda real.
- Restricción de al menos un trabajador por día: Aunque esta restricción asegura que cada día de la semana tenga al menos un trabajador asignado, no permite asignar más trabajadores de los necesarios. Esto evita la asignación innecesaria de personal.
- Función objetivo de maximización de la cobertura de la demanda: La función objetivo busca maximizar la cobertura de la demanda de personal. Esto significa que se asigna personal únicamente en función de las necesidades reales de cada horario y día de la semana.

Estos resultados sugieren que el modelo ha logrado una asignación de personal más eficiente al minimizar la cantidad total de trabajadores empleados sin comprometer la cobertura de la demanda. Esto puede tener un impacto positivo en la reducción de costos laborales y en la eficiencia operativa de las operaciones de cajas de autoservicio.

Conclusiones

Basado en la discusión y el desarrollo del trabajo sobre la optimización de la asignación de personal en las cajas de autoservicio de las tiendas Minis de Corporación El Rosado, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. **Eficiencia Operativa Mejorada:** La aplicación de técnicas de programación lineal para optimizar la asignación de personal ha demostrado ser eficaz para mejorar la eficiencia operativa en tiendas minoristas. La reducción y asignación eficiente de trabajadores necesarios no solo ahorra costos laborales, sino que también optimiza los recursos disponibles para una operación más fluida.
2. **Satisfacción del Cliente:** La asignación óptima de personal permitiría garantizar una mejor atención al cliente al reducir los tiempos de espera y mejorar la experiencia general. Los clientes experimentan una atención más rápida y eficiente, lo que puede aumentar la satisfacción y fidelidad del cliente.
3. **Ahorro de Costos:** La reducción en la cantidad de trabajadores necesarios conlleva a un ahorro significativo en costos laborales. Esto puede liberar recursos financieros que la empresa puede reinvertir en otras áreas o mejorar su rentabilidad y competitividad.
4. **Cumplimiento Laboral:** El modelo desarrollado respeta las restricciones laborales, lo que garantiza que la asignación de personal se ajuste a las regulaciones y políticas laborales del ente regulador. Esto evita posibles conflictos y sanciones laborales.

5. Flexibilidad y Adaptación: La asignación de personal se adapta automáticamente a las fluctuaciones en la demanda, lo que brinda flexibilidad operativa. Durante temporadas altas o bajas, el modelo puede ajustar la asignación sin intervención manual.
6. Gestión del Cambio: La implementación de este modelo requerirá una gestión cuidadosa del cambio. Los empleados deberán adaptarse a nuevas asignaciones de trabajo, lo que puede generar resistencia al principio. La comunicación y el apoyo adecuados son esenciales para el éxito de esta transición.
7. Monitoreo Continuo: El modelo debe monitorearse y ajustarse periódicamente para asegurarse de que siga siendo efectivo a medida que cambien las condiciones del mercado y las operativas. La mejora continua es esencial para mantener los beneficios a largo plazo.

En general, este trabajo demuestra cómo la aplicación de técnicas de optimización puede tener un impacto significativo en la eficiencia operativa y la gestión de recursos humanos en el entorno minorista. Los resultados obtenidos sugieren que la optimización de la asignación de personal es una estrategia valiosa para las empresas minoristas que buscan mejorar su eficiencia y reducir costos operativos mientras mantienen la calidad del servicio al cliente.

Recomendaciones

Algunas recomendaciones que podrían derivarse del trabajo presentado se mencionan a continuación:

1. Implementar el Modelo de Asignación de Personal: Recomendar a Corporación El Rosado implementar el modelo de asignación de personal desarrollado en la tesis. Explicar cómo este modelo puede ayudar a la Empresa a asignar eficientemente a su personal en diferentes horarios y días de la semana para satisfacer la demanda y reducir costos laborales.
2. Entrenamiento del Personal: Sugerir que la empresa proporcione capacitación adecuada a su personal para garantizar que estén familiarizados con el nuevo sistema de asignación y sus beneficios. Esto puede incluir la formación en el uso de herramientas o software específicos utilizados en el proceso de asignación.
3. Seguimiento y Evaluación Continuos: Recomendar que Corporación El Rosado establezca un proceso de seguimiento y evaluación constante para el modelo de asignación de personal. Esto implica monitorear el rendimiento del personal asignado, la satisfacción del cliente y los costos laborales para ajustar el modelo según sea necesario.
4. Optimización de Recursos Humanos: Sugerir que la Empresa utilice los datos recopilados a través del modelo para tomar decisiones informadas sobre la contratación y la gestión del personal. Esto podría implicar ajustar la cantidad total de empleados en función de la demanda y la eficiencia operativa.

5. Mejora Continua: Motivar a la empresa a buscar constantemente formas de mejorar su proceso de asignación de personal. Esto podría incluir la exploración de nuevas tecnologías o enfoques para la asignación.
6. Satisfacción del Cliente: Destacar cómo una asignación eficiente de personal puede mejorar la experiencia del cliente. Recomienda que la empresa realice encuestas de satisfacción para recopilar comentarios de los clientes y ajustar el modelo en consecuencia.
7. Eficiencia Operativa: Presentar cómo la optimización de la asignación de personal puede contribuir a una mayor eficiencia operativa. Anima a la Empresa a buscar formas de aplicar este enfoque a otros aspectos de su operación.
8. Documentación y Procedimientos: Documentar claramente los procedimientos y políticas relacionados con la asignación de personal. Esto garantizará que el proceso sea transparente y que todos los empleados estén al tanto de cómo funciona.
9. Comparación de Resultados: Sugerir comparar los resultados después de la implementación del modelo con los datos recopilados antes de la optimización. Esto permitirá cuantificar el impacto real en términos de ahorro de costos y mejora en la satisfacción del cliente.
10. Comunicación Interna: Recomendar una comunicación efectiva con los empleados sobre los cambios en la asignación de personal. Asegura que comprendan los beneficios del nuevo sistema y cómo pueden contribuir a su éxito.

Estas recomendaciones pueden ayudar a Corporación El Rosado a aprovechar al máximo los resultados del trabajo y a mejorar la eficiencia operativa en sus tiendas Minis.

Finalmente, en términos de trabajos futuros se pueden recomendar los siguientes:

- **Modelos de Predicción de Demanda:** Desarrollar modelos de predicción de demanda más avanzados que tengan en cuenta factores estacionales, tendencias de compra de los clientes y eventos especiales. Esto permitiría una asignación de personal aún más precisa.
- **Integración de Tecnología:** Investigar cómo la tecnología emergente, como la automatización y la inteligencia artificial, puede mejorar aún más la asignación de personal. Por ejemplo, se podría explorar la implementación de robots para ciertas tareas de servicio al cliente.
- **Optimización en Tiempo Real:** Crear sistemas de asignación de personal que puedan optimizarse en tiempo real en función de datos en curso. Esto sería particularmente útil para hacer frente a situaciones inesperadas, como picos de demanda inesperados o cambios en la disponibilidad del personal.
- **Análisis de la Experiencia del Cliente:** Realizar investigaciones más detalladas sobre cómo la asignación de personal afecta directamente a la experiencia del cliente. Esto podría incluir encuestas en tiempo real o análisis de comentarios en redes sociales para comprender mejor las expectativas y necesidades de los clientes.

Referencias

- Dekker, R., Riezebos, J., & Schuur, P. (2004). *Operations Research for Retail Operations: Applications in a Supply Chain Context*. New York: Springer.
- Drexler, A., & Kimms, A. (2014). *Integer Programming: Theory, Applications, and Computations*. New York: Springer.
- Fan, J., Mingxing, S., Li, Y., & Huang, X. (2018). Understanding the antecedents of mobile payment service adoption: A comparative analysis of China and the USA. *Industrial Management & Data System*, 118(3), 524-540. doi:10.1108/IMDS-06-2017-0268
- Frow, P., Nenonen, S., Payne, A., & Storbacka, K. (2015). Managing co-creation design: A strategic approach to innovation. *British Journal of Management*, 26(3), 463-483. doi:https://doi.org/10.1111/1467-8551.12087
- Gao, Y., Su, S., Huang, G., & Kaku, I. (2017). The impact of customer-to-employee ratio on customer satisfaction in supermarket: An empirical study. *International Journal of Production Economics*(193), 725-733.
- Gross, M., Rässler, S., & Stadler, R. (2020). The impact of customer queueing behavior on retailers' performance. *Journal of Retailing*, 96(4), 456-472.
- Haumann, T., Morgan, R. E., Vorster, S., & Vander, L. (2018). The impact of customer personalization on customer relationship management outcomes: An empirical investigation in retailing. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 41, 109-119.
- Karaesmen, F., Scheller-Wolf, A., & Zobel, C. (2003). Employee cross-training for capacity flexibility. *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(3), 223-246.

- Karakaya, N., Onal, B., Ayazlar, G., & Oguz, S. (2018). Human resources management practices in retailing: The case of Turkey. *International Journal of Economics, Commerce and Management*, 6(7), 21-34. doi:10.17265/1548-6591/2019.01.001
- Mandal, S., & Deshmukh, S. G. (2011). Workforce planning in the context of dynamic retail environment. *International Journal of Production Economics*, 131(2), 685-693.
- Nemhauser, G. L., & Wolsey, L. A. (2014). *Integer and Combinatorial Optimization*. Jhon Wiley & Sons.
- Pine, B., & Gilmore, J. (2018). *The Experience Economy: Competing for Customer Time, Attention, and Money*. Harvard Business Review Press.
- Raineri, A., Gomez, E., & Montagna, J. M. (2018). Simulated annealing algorithm for the employee scheduling problem with minimized level of skills. *European Journal of Operational Research*, 264(2), 577-591.
- Sánchez, D., Acevedo, M., & Orjuelo, J. (2023). Evaluando los operadores logísticos: Retos y tendencias. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 27(75), 207-237. doi:<https://doi.org/10.14483/22487638.17624>
- Taha, H. (2012). *Investigación de operaciones*. México: Pearson Educación. Obtenido de <https://fad.unsa.edu.pe/bancayseguros/wp-content/uploads/sites/4/2019/03/investigacic3b3n-de-operaciones-9na-edicic3b3n-hamdy-a-taha-fl.pdf>
- Tang, C., Wang, Q., & Shen, B. (2016). Supply chain management in the era of the internet of things. *International Journal of Production Economics*, 159, 1-2.

- Vanderbei, R. J. (2014). *Linear Programming: Foundations and Extensions*. . New York: Springer.
- Verhoef, P. C., Lemon, K. N., Parasuraman, A., Roggeveen, A., Tsiros, M., & Schlesinger, L. A. (2015). Customer experience creation: Determinants, dynamics, and management strategies. *Journal of Retailing*, 91(2), 356-371. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jretai.2008.11.001>
- Wang, L., & Li, J. (2016). Optimal staffing for supermarkets using a linear programming approach. . *International Journal of Production Economics*, 171(Parte 3), 425-432.
- Wirtz, J., Patterson, P., Kunz, W. H., Gruber, T., Lu, V. N., Paluch, S., & Martins, A. (2019). Brave new world: Service robots in the frontline. *Journal of Service Management*, 30(4), 493-527. doi:10.1108/JOSM-04-2018-0119

Apéndices

Apéndice 1 Transacciones en las máquinas de autoservicio por semana desde marzo a mayo.

Marzo

Semana 1							
Horario	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	70	65	67	70	101	143	135
10h-11h	96	69	81	87	154	145	109
11h-12h	94	76	83	96	144	127	151
12h-13h	91	87	66	97	155	154	139
13h-14h	94	94	78	94	130	134	121
14h-15h	89	94	96	99	147	155	106
15h-16h	107	101	110	119	105	142	130
16h-17h	111	114	111	109	156	104	111
17h-18h	109	104	91	100	129	114	129
18h-19h	96	92	103	98	119	139	126
N. Trans.	957	896	886	969	1340	1357	1257

Semana 2						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
72	73	89	70	114	157	145
86	100	82	89	137	139	133
90	60	100	86	115	125	108
99	100	87	72	137	128	127
88	97	90	95	121	118	154
101	85	99	93	154	124	133
123	129	90	126	120	103	150
119	114	100	110	111	120	109
116	117	101	110	140	137	115
96	122	122	95	137	147	148
990	997	960	946	1286	1298	1322

Semana 3							
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
67	63	84	77	101	127	140	
99	69	86	80	123	134	133	
89	79	95	71	110	130	120	
83	73	82	76	108	127	108	
95	99	90	70	132	153	160	
85	97	93	71	132	105	158	
97	97	112	105	155	110	106	
102	100	98	124	123	124	151	
111	109	110	115	145	123	100	
115	125	107	120	115	129	128	
943	911	957	909	1244	1262	1304	

Semana 4							
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
75	60	67	71	141	114	147	
68	86	76	88	144	111	123	
78	80	88	91	128	151	113	
62	67	74	72	115	133	143	
76	80	72	69	108	148	151	
75	86	84	67	122	155	103	
116	118	130	115	151	103	110	
124	100	119	113	157	154	126	
114	106	98	122	118	145	157	
128	118	126	115	138	142	152	
916	901	934	923	1322	1356	1325	

Abril

Semana 1							
Horario	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	66	65	79	85	112	66	112
10h-11h	70	84	71	77	136	50	103
11h-12h	70	88	100	74	160	136	119
12h-13h	99	100	90	77	100	102	53
13h-14h	81	100	65	77	111	114	130
14h-15h	101	99	97	98	118	137	113
15h-16h	98	115	99	104	108	125	124
16h-17h	92	105	109	100	133	92	93
17h-18h	113	126	102	94	137	59	68
18h-19h	112	108	115	127	133	139	136
N. Trans.	902	990	927	913	1248	1020	1051

Semana 2						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
78	87	67	74	149	125	151
85	69	66	93	127	113	133
90	71	95	83	109	133	136
63	76	93	77	100	100	103
79	88	93	71	150	141	153
82	74	89	96	105	160	136
112	122	115	113	105	110	128
127	130	122	117	131	108	123
110	127	129	123	155	121	146
113	130	107	110	126	116	135
939	974	976	957	1257	1227	1344

Semana 3						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
70	77	68	71	102	103	140
89	95	64	96	127	136	108
75	63	100	71	111	102	130
93	75	98	83	110	105	142
84	101	97	100	149	139	151
98	100	101	91	109	121	128
108	109	117	99	125	149	136
114	91	118	128	149	126	138
94	116	103	128	106	104	102
101	105	125	109	100	153	114
926	932	991	976	1188	1238	1289

Semana 4						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
83	78	76	91	130	158	129
97	89	87	90	160	146	149
71	87	86	65	106	123	134
85	71	79	100	133	126	116
90	78	99	64	142	127	153
93	100	71	94	112	125	129
97	108	114	120	104	109	160
117	110	122	120	150	149	140
130	113	114	96	108	117	118
98	110	128	97	108	146	139
961	944	976	937	1253	1326	1367

Mayo

Semana 1							
Horario	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	79	97	65	64	130	134	128
10h-11h	85	71	75	84	134	152	109
11h-12h	88	81	79	89	160	150	115
12h-13h	87	79	80	84	137	105	151
13h-14h	90	79	86	75	154	130	125
14h-15h	93	101	98	77	135	131	118
15h-16h	116	119	115	99	160	148	115
16h-17h	103	98	116	126	111	116	134
17h-18h	121	104	110	119	106	133	131
18h-19h	126	120	100	124	136	154	122
N. Trans.	988	949	924	941	1363	1353	1248

Semana 2						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
61	71	73	68	121	100	138
64	74	87	87	107	120	103
68	98	68	78	126	150	105
93	84	70	80	120	111	100
94	89	76	83	157	139	139
90	98	89	101	150	129	123
97	113	108	129	123	100	149
116	109	104	108	142	113	123
114	107	125	128	134	145	140
114	108	130	100	131	146	126
911	951	930	962	1311	1253	1246

Semana 3						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
61	62	90	100	122	130	130
87	74	80	74	136	154	143
97	82	92	81	152	146	110
90	81	87	80	127	149	152
96	85	97	96	131	115	102
75	88	78	81	140	125	111
108	98	105	92	148	130	102
120	121	124	92	144	103	103
102	115	110	123	147	107	108
129	113	116	90	141	126	153
965	919	979	909	1388	1285	1214

Semana 4								
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo		
67	88	81	91	139	123	111		
79	72	81	74	134	147	148		
63	90	64	82	152	120	154		
71	60	76	64	126	108	160		
78	91	75	95	105	137	128		
97	66	66	69	160	142	114		
109	92	92	98	158	137	151		
111	98	115	90	155	132	146		
115	121	129	97	104	158	113		
110	107	119	108	119	150	147		
900	885	898	868	1352	1354	1372		

Apéndice 2 Minutos necesarios para cada transacción desde el mes de marzo a mayo

Marzo

Semana 1							
Horario	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	3,5	3,25	3,35	3,5	5,05	7,15	6,75
10h-11h	4,8	3,45	3,05	4,35	7,7	7,25	5,45
11h-12h	4,7	3,8	4,15	4,8	7,2	6,35	7,55
12h-13h	4,55	4,35	3,3	4,85	7,75	7,7	6,95
13h-14h	4,7	4,7	3,9	4,7	6,5	6,7	6,05
14h-15h	4,45	4,7	4,8	4,95	7,35	7,75	5,3
15h-16h	5,35	5,05	5,5	5,95	5,25	7,1	6,5
16h-17h	5,35	5,7	5,55	5,45	7,8	5,2	5,55
17h-18h	5,55	5,2	4,55	5	6,45	5,7	6,45
18h-19h	4,8	4,6	5,15	4,9	5,95	6,95	6,3
Min. Totales	47,75	44,8	43,3	48,45	67	67,85	62,85

Semana 2						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
3,6	3,65	4,45	3,5	5,7	7,85	7,25
4,3	5	4,1	4,45	6,85	6,95	6,65
4,5	3	5	4,3	5,75	6,25	5,4
4,95	5	4,35	3,6	6,85	6,4	6,35
4,4	4,85	4,5	4,75	6,05	5,9	7,7
5,05	4,25	4,95	4,65	7,7	6,2	6,65
6,15	6,45	4,5	6,3	6	5,15	7,5
5,95	5,7	5	5,5	5,55	6	5,45
5,8	5,85	5,05	5,5	7	6,85	5,75
4,8	6,1	6,1	4,75	6,85	7,35	7,4
49,5	49,85	48	47,3	64,3	64,9	66,1

Semana 3							
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
3,35	3,15	4,2	3,85	5,05	6,35	7	
4,95	3,45	4,3	4	6,15	6,7	6,65	
4,45	3,95	4,75	3,55	5,5	6,5	6	
4,15	3,65	4,1	3,8	5,4	6,35	5,4	
4,75	4,95	4,5	3,5	6,6	7,65	8	
4,25	4,85	4,65	3,55	6,6	5,25	7,9	
4,85	4,85	5,6	5,25	7,75	5,5	5,3	
5,1	5	4,9	6,2	6,15	6,2	7,55	
5,55	5,45	5,5	5,75	7,25	6,15	5	
5,75	6,25	5,35	6	5,75	6,45	6,4	
47,15	45,55	47,85	45,45	62,2	63,1	65,2	

Semana 4							
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
3,75	3	3,35	3,55	7,05	5,7	7,35	
3,4	4,3	3,8	4,4	7,2	5,55	6,15	
3,9	4	4,4	4,55	6,4	7,55	5,65	
3,1	3,35	3,7	3,6	5,75	6,65	7,15	
3,8	4	3,6	3,45	5,4	7,4	7,55	
3,75	4,3	4,2	3,35	6,1	7,75	5,15	
5,8	5,9	6,5	5,75	7,55	5,15	5,5	
6,2	5	5,95	5,65	7,85	7,7	6,3	
5,7	5,3	4,9	6,1	5,9	7,25	7,85	
6,4	5,9	6,3	5,75	6,9	7,1	7,6	
45,8	45,05	46,7	46,15	66,1	67,8	66,25	

Abril

Semana 1							
Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	3,3	3,25	3,95	4,25	5,6	3,3	5,6
10h-11h	3,5	4,2	3,55	3,85	6,8	2,5	5,15
11h-12h	3,5	4,2	5	3,7	8	6,8	5,95
12h-13h	4,95	5	4,5	3,85	5	5,1	2,65
13h-14h	4,05	5	3,25	3,85	5,55	5,7	6,5
14h-15h	5,05	4,95	4,85	4,9	5,9	6,85	5,65
15h-16h	4,9	5,75	4,95	5,2	5,4	6,25	6,2
16h-17h	4,6	5,25	5,45	5	6,65	4,6	4,65
17h-18h	5,65	6,3	5,1	4,7	6,85	2,95	3,4
18h-19h	5,6	5,4	5,75	6,35	6,65	6,95	6,8
Min. Totales	45,1	49,3	46,35	45,65	62,4	51	52,55

Semana 2						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
3,9	4,35	3,35	3,7	7,45	6,25	7,55
4,25	3,45	3,3	4,65	6,35	5,65	6,65
4,5	3,55	4,75	4,15	5,45	6,65	6,8
3,15	3,8	4,65	3,85	5	5	5,15
3,95	4,4	4,65	3,55	7,5	7,05	7,65
4,1	3,7	4,45	4,8	5,25	8	6,8
5,6	6,1	5,75	5,65	5,25	5,5	6,4
6,35	6,5	6,1	5,85	6,55	5,4	6,15
5,5	6,35	6,45	6,15	7,75	6,05	7,3
5,65	6,5	5,35	5,5	6,3	5,8	6,75
46,95	48,7	48,8	47,85	62,85	61,35	67,2

Semana 3						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
3,5	3,85	3,4	3,55	5,1	5,15	7
4,45	4,75	3,2	4,8	6,35	6,8	5,4
3,75	3,15	5	3,55	5,55	5,1	6,5
4,65	3,75	4,9	4,15	5,5	5,25	7,1
4,2	5,05	4,85	5	7,45	6,95	7,55
4,9	5	5,05	4,55	5,45	6,05	6,4
5,4	5,45	5,85	4,95	6,25	7,45	6,8
5,7	4,55	5,9	6,4	7,45	6,3	6,9
4,7	5,8	5,15	6,4	5,3	5,2	5,1
5,05	5,25	6,25	5,45	5	7,65	5,7
46,3	46,6	49,55	48,8	59,4	61,9	64,45

Semana 4						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
4,15	3,9	3,8	4,55	6,5	7,9	6,45
4,85	4,45	4,35	4,5	8	7,3	7,45
3,55	4,35	4,3	3,25	5,3	6,15	6,7
4,25	3,55	3,95	5	6,65	6,3	5,8
4,5	3,9	4,95	3,2	7,1	6,35	7,65
4,65	5	3,55	4,7	5,6	6,25	6,45
4,85	5,4	5,7	6	5,2	5,45	8
5,85	5,5	6,1	6	7,5	7,45	7
6,5	5,65	5,7	4,8	5,4	5,85	5,9
4,9	5,5	6,4	4,85	5,4	7,3	6,95
48,05	47,2	48,8	46,85	62,65	66,3	68,35

Mayo

Semana 1							
Horario	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	3,95	4,85	3,25	3,2	6,5	6,7	6,4
10h-11h	4,25	3,55	3,75	4,2	6,7	7,6	5,45
11h-12h	4,4	4,05	3,95	4,45	8	7,5	5,75
12h-13h	4,35	3,95	4	4,2	6,85	5,25	7,55
13h-14h	4,5	3,95	4,3	3,75	7,7	6,5	6,25
14h-15h	4,65	5,05	4,9	3,85	6,75	6,55	5,9
15h-16h	5,8	5,95	5,75	4,95	8	7,4	5,75
16h-17h	5,15	4,9	5,8	6,3	5,55	5,8	6,7
17h-18h	6,05	5,2	5,5	5,95	5,3	6,65	6,55
18h-19h	6,3	6	5	6,2	6,8	7,7	6,1
Min. Totales	49,4	47,45	46,2	47,05	68,15	67,65	62,4

Semana 2						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
3,05	3,55	3,65	3,4	6,05	5	6,9
3,2	3,7	4,35	4,35	5,35	6	5,15
3,4	4,9	3,4	3,9	6,3	7,5	5,25
4,65	4,2	3,5	4	6	5,55	5
4,7	4,45	3,8	4,15	7,85	6,95	6,95
4,5	4,9	4,45	5,05	7,5	6,45	6,15
4,85	5,65	5,4	6,45	6,15	5	7,45
5,8	5,45	5,2	5,4	7,1	5,65	6,15
5,7	5,35	6,25	6,4	6,7	7,25	7
5,7	5,4	6,5	5	6,55	7,3	6,3
45,55	47,55	46,5	48,1	65,55	62,65	62,3

Semana 3						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
3,05	3,1	4,5	5	6,1	6,5	6,5
4,35	3,7	4	3,7	6,8	7,7	7,15
4,85	4,1	4,6	4,05	7,6	7,3	5,5
4,5	4,05	4,35	4	6,35	7,45	7,6
4,8	4,25	4,85	4,8	6,55	5,75	5,1
3,75	4,4	3,9	4,05	7	6,25	5,55
5,4	4,9	5,25	4,6	7,4	6,5	5,1
6	6,05	6,2	4,6	7,2	5,15	5,15
5,1	5,75	5,5	6,15	7,35	5,35	5,4
6,45	5,65	5,8	4,5	7,05	6,3	7,65
48,25	45,95	48,95	45,45	69,4	64,25	60,7

Semana 4							
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
3,35	4,4	4,05	4,55	6,95	6,15	5,55	
3,95	3,6	4,05	3,7	6,7	7,35	7,4	
3,15	4,5	3,2	4,1	7,6	6	7,7	
3,55	3	3,8	3,2	6,3	5,4	8	
3,9	4,55	3,75	4,75	5,25	6,85	6,4	
4,85	3,3	3,3	3,45	8	7,1	5,7	
5,45	4,6	4,6	4,9	7,9	6,85	7,55	
5,55	4,9	5,75	4,5	7,75	6,6	7,3	
5,75	6,05	6,45	4,85	5,2	7,9	5,65	
5,5	5,35	5,95	5,4	5,95	7,5	7,35	
45	44,25	44,9	43,4	67,6	67,7	68,6	

Apéndice 3 Trabajadores necesarios de acuerdo a la cantidad de transacciones y tiempo por transacción desde los meses de marzo a mayo (demanda no optimizada)

Marzo

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	4	3	3	3	4	8	8
10h-11h	4	3	3	3	8	8	4
11h-12h	4	3	3	4	8	5	8
12h-13h	4	3	3	4	8	9	8
13h-14h	4	4	3	4	7	8	7
14h-15h	3	5	5	4	8	9	4
15h-16h	4	5	5	5	4	8	7
16h-17h	5	5	5	5	8	4	6
17h-18h	4	4	5	4	4	5	6
18h-19h	4	5	5	4	5	8	6
Trab. Totales	40	40	40	40	64	72	64
Promedio	4	4	4	4	6	7	6

Semana 2							
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
4	4	4	4	4	6	8	7
4	5	4	4	4	7	7	7
5	3	5	4	4	6	6	5
5	5	4	4	4	7	6	6
4	5	5	5	5	6	6	8
5	4	5	5	5	8	6	7
6	6	5	6	6	6	5	8
6	6	5	6	6	6	6	5
6	6	5	6	7	7	7	6
5	6	6	5	5	7	7	7
50	50	48	47	64	65	66	66

Semana 3							
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
3	3	4	4	5	6	7	7
5	3	4	4	6	7	7	7
4	4	5	4	6	7	6	6
4	4	4	4	5	6	5	5
5	5	5	4	7	8	8	8
4	5	5	4	7	5	8	8
5	5	6	5	8	6	5	5
5	5	5	6	6	6	8	8
6	5	6	6	7	6	5	5
6	6	5	6	6	6	6	6
47	46	48	45	62	63	65	65

Semana 4							
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
4	3	3	4	7	6	7	7
3	4	4	4	7	6	6	6
4	4	4	5	6	8	6	6
3	3	4	4	6	7	7	7
4	4	4	3	5	7	8	8
4	4	4	3	6	8	5	5
6	6	7	6	8	5	6	6
6	5	6	6	8	8	6	6
6	5	5	6	6	7	8	8
6	6	6	6	7	7	8	8
46	45	47	46	66	68	66	66

Abril

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	3	3	4	4	6	3	6
10h-11h	4	4	4	4	7	3	5
11h-12h	4	4	5	4	8	7	6
12h-13h	5	5	5	4	5	5	4
13h-14h	4	5	3	4	6	6	7
14h-15h	5	5	5	5	6	7	6
15h-16h	5	6	5	5	5	6	6
16h-17h	5	5	5	5	7	5	5
17h-18h	6	6	5	5	7	3	3
18h-19h	6	5	6	6	7	7	7
Trab. Totales	47	48	47	46	64	52	55
Promedio	5	5	5	5	6	5	6

Semana 2						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
4	4	3	4	7	6	8
4	3	3	5	6	6	7
5	4	5	4	5	7	7
3	4	5	4	5	5	5
4	4	5	4	8	7	8
4	4	4	5	5	8	7
6	6	6	6	5	6	6
6	7	6	6	7	5	6
6	6	6	6	8	6	7
6	7	5	6	6	6	7
47	49	49	48	63	61	67

Semana 3						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
4	4	3	4	5	5	7
4	5	3	5	6	7	5
4	3	5	4	6	5	7
5	4	5	4	6	5	7
4	5	5	5	7	7	8
5	5	5	5	5	6	6
5	5	6	5	6	7	7
6	5	6	6	7	6	7
5	6	5	6	5	5	5
5	5	6	5	5	8	6
46	47	50	49	59	62	64

Semana 4							
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
4	4	4	5	7	8	6	
5	4	4	5	8	7	7	
4	4	4	3	5	6	7	
4	4	4	5	7	6	6	
5	4	5	3	7	6	8	
5	5	4	5	6	6	6	
5	5	6	6	5	5	8	
6	6	6	6	8	7	7	
7	6	6	5	5	6	6	
5	6	6	5	5	7	7	
48	47	49	47	63	66	68	

Mayo

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09h-10h	4	5	3	3	7	7	6
10h-11h	4	4	4	4	7	8	5
11h-12h	4	4	4	4	8	8	6
12h-13h	4	4	4	4	7	5	8
13h-14h	5	4	4	4	8	7	6
14h-15h	5	5	5	4	7	7	6
15h-16h	6	6	6	5	8	7	6
16h-17h	5	5	6	6	6	6	7
17h-18h	6	5	6	6	5	7	7
18h-19h	6	6	5	6	7	8	6
Trab. Totales	49	48	47	46	70	70	63
Promedio	5	5	5	5	7	7	6

Semana 2							
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
3	4	4	3	6	5	7	
3	4	4	4	5	6	5	
3	5	3	4	6	8	5	
5	4	4	4	6	6	5	
5	4	4	4	8	7	7	
5	5	4	5	8	6	6	
5	6	5	6	6	5	7	
6	5	5	5	7	6	6	
6	5	6	6	7	7	7	
6	5	7	5	7	7	6	
46	48	47	48	66	63	62	

Semana 3						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
3	3	5	5	6	7	7
4	4	4	4	7	8	7
5	4	5	4	8	7	6
5	4	4	4	6	7	8
5	4	5	5	7	6	5
4	4	4	4	7	6	6
5	5	5	5	7	7	5
6	6	6	5	7	5	5
5	6	6	6	7	5	5
6	6	6	5	7	6	8
48	46	49	45	69	64	61

Semana 4						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
3	4	4	5	7	6	6
4	4	4	4	7	7	7
3	5	3	4	8	6	8
4	3	4	3	6	5	8
4	5	4	5	5	7	6
5	3	3	3	8	7	6
5	5	5	5	8	7	8
6	5	6	5	8	7	7
6	6	6	5	5	8	6
6	5	6	5	6	8	7
45	44	45	43	68	68	69

Apéndice 4 Pasos del programa ejecutado en lenguaje Python para la optimización del modelo

a) Instalación e importación de librería de programación lineal para Python

```
pip install pulp
```

```
import pulp
```

```
import openpyxl
```

b) Para comenzar el proceso, ingresamos datos clave del modelo, empezando por los valores de la demanda por hora y día de la semana para el número de

trabajadores necesarios. Esta matriz representa el promedio de la demanda durante los meses de marzo a mayo. En términos generales, la demanda total semanal asciende a 383 horas, lo que equivale a un total de 9.6 trabajadores, esto lo obtenemos de la suma de los tiempos que toma cada transacción detallados en el Apéndice 2, dividido para la cantidad de transacciones reales. El desafío radica en determinar el número mínimo de trabajadores asignando los días de trabajo, al mismo tiempo que cumplimos con las restricciones laborales establecidas.

- c) Tomamos como muestra para alimentar nuestro modelo los datos de personal asignado por turnos en la tienda en la primera semana del mes de marzo, los cuales serían:

demanda = [

[4,	3,	3,	4,	5,	7,	7],
[5,	3,	4,	4,	8,	7,	5],
[5,	4,	4,	5,	7,	6,	8],
[5,	4,	3,	5,	8,	8,	7],
[5,	5,	4,	5,	7,	7,	6],
[4,	5,	5,	5,	7,	8,	5],
[5,	5,	6,	6,	5,	7,	7],
[6,	6,	6,	5,	8,	5,	6],
[5,	5,	5,	5,	5,	6,	6],
[5,	5,	5,	5,	6,	7,	6]

]

- d) Ingresamos las variables de número de trabajadores requeridos de acuerdo a la demanda, cantidad de horarios disponibles y días de la semana para trabajar

```
num_trabajadores = 10
```

```
num_horarios = 10
```

```
num_dias_semana = 7
```

- e) Procedemos a la programación del código para el modelado del problema de optimización, basado en la cobertura de máxima demanda de trabajadores

```
problem = pulp.LpProblem("Maximize_Demand_Coverage", pulp.LpMaximize)
```

- f) Procedemos a la creación del código de las variables de decisión de acuerdo al modelo presentado en la Sección 3

```
# Variables de decisión (Asignacion[i][j][k])
```

```
asignacion = pulp.LpVariable.dicts("Asignacion", [(i, j, k) for i in
range(num_trabajadores) for j in range(num_horarios) for k in
range(num_dias_semana)], cat=pulp.LpBinary)
```

```
# Variables de días de trabajo (Descanso[i][k])
```

```
trabajo = pulp.LpVariable.dicts("trabajo", [(i, k) for i in range(num_trabajadores)
for k in range(num_dias_semana)], cat=pulp.LpBinary)
```

- g) Procedemos a la creación del código de la función objetivo, de acuerdo al modelo presentado en la Sección 3.

```
# Función Objetivo: Maximizar la cobertura de la demanda
```

```
problem += pulp.lpSum(demanda[j][k] * asignacion[i, j, k] for i in
range(num_trabajadores) for j in range(num_horarios) for k in
range(num_dias_semana))
```

h) Procedemos al ingreso de las restricciones de acuerdo al modelo presentado en la Sección 3

```
# Restricción 1: para satisfacer al menos el puede sobrepasar el 20% de la  
demanda for j in range(num_horarios):
```

```
    for k in range(num_dias_semana):
```

```
        problem += pulp.lpSum(asignacion[i, j, k] for i in range(num_trabajadores)) <=  
demanda[j][k] * 1.20
```

```
# Restricción 2: Cada trabajador debe trabajar 40 horas semanales
```

```
for i in range(num_trabajadores):
```

```
    problem += pulp.lpSum(asignacion[i, j, k] for j in range(num_horarios) for k  
in range(num_dias_semana)) == 40
```

```
# Restricción 3: Cada trabajador debe trabajar 5 días a la semana
```

```
for i in range(num_trabajadores):
```

```
    problem += pulp.lpSum(trabajo[i, k] for k in range(num_dias_semana)) ==  
5
```

```
#Restricción 4: obliga a trabajar 8 horas al día
```

```
for i in range(num_trabajadores):
```

```
    for k in range(num_dias_semana):
```

```
        problem += pulp.lpSum(asignacion[i, j, k] for j in range(num_horarios)) <=  
8 * trabajo[i, k]
```

```
# Restricción 5: obliga la demanda a un 40%  
for j in range(num_horarios):  
    for k in range(num_dias_semana):  
        problem += pulp.lpSum(asignacion[i, j, k] for i in range(num_trabajadores))  
        >= demanda[j][k] * 0.40
```

- i) Procedemos a la resolución del problema de optimización mediante el módulo de programación lineal de Python

```
# Resolver el problema  
problem.solve()  
  
# Imprimir el resultado  
print("Estado:", pulp.LpStatus[problem.status])  
  
for i in range(num_trabajadores):  
    for j in range(num_horarios):  
        for k in range(num_dias_semana):  
            if pulp.value(asignacion[i, j, k]) == 1:  
                print(f"Trabajador {i+1} asignado al Horario {j+1} el Día {k+1}")  
  
# Valor óptimo de la función objetivo  
print("Valor óptimo:", pulp.value(problem.objective))
```

- j) Luego de compilar este código en Python, tendremos una respuesta como se muestra a continuación:

Estado: Optimal

Trabajador 1 asignado al Horario 3 el Día 7

Trabajador 1 asignado al Horario 4 el Día 5

Trabajador 1 asignado al Horario 7 el Día 1

Trabajador 1 asignado al Horario 8 el Día 2

Trabajador 1 asignado al Horario 8 el Día 3

Trabajador 2 asignado al Horario 3 el Día 1

Trabajador 2 asignado al Horario 4 el Día 4

Trabajador 2 asignado al Horario 4 el Día 7

Trabajador 2 asignado al Horario 6 el Día 6

Trabajador 2 asignado al Horario 8 el Día 5

Trabajador 3 asignado al Horario 2 el Día 5

Trabajador 3 asignado al Horario 4 el Día 6

Trabajador 3 asignado al Horario 4 el Día 7

Trabajador 3 asignado al Horario 8 el Día 1

Trabajador 3 asignado al Horario 8 el Día 2

Trabajador 4 asignado al Horario 3 el Día 7

Trabajador 4 asignado al Horario 5 el Día 1

Trabajador 4 asignado al Horario 6 el Día 6

Trabajador 4 asignado al Horario 8 el Día 2

Trabajador 4 asignado al Horario 8 el Día 3

Trabajador 5 asignado al Horario 4 el Día 5

Trabajador 5 asignado al Horario 4 el Día 6

Trabajador 5 asignado al Horario 4 el Día 7

Trabajador 5 asignado al Horario 7 el Día 3

Trabajador 5 asignado al Horario 10 el Día 1

Trabajador 6 asignado al Horario 3 el Día 7

Trabajador 6 asignado al Horario 4 el Día 5

Trabajador 6 asignado al Horario 4 el Día 6

Trabajador 6 asignado al Horario 7 el Día 3

Trabajador 6 asignado al Horario 7 el Día 4

Trabajador 7 asignado al Horario 3 el Día 7

Trabajador 7 asignado al Horario 6 el Día 6

Trabajador 7 asignado al Horario 8 el Día 1

Trabajador 7 asignado al Horario 8 el Día 3

Trabajador 7 asignado al Horario 9 el Día 4

Trabajador 8 asignado al Horario 1 el Día 7

Trabajador 8 asignado al Horario 4 el Día 5

Trabajador 8 asignado al Horario 7 el Día 3

Trabajador 8 asignado al Horario 7 el Día 4

Trabajador 8 asignado al Horario 8 el Día 1

Trabajador 9 asignado al Horario 4 el Día 6

Trabajador 9 asignado al Horario 7 el Día 3

Trabajador 9 asignado al Horario 7 el Día 4

Trabajador 9 asignado al Horario 8 el Día 2

Trabajador 9 asignado al Horario 8 el Día 5

Trabajador 10 asignado al Horario 2 el Día 5

Trabajador 10 asignado al Horario 6 el Día 6

Trabajador 10 asignado al Horario 7 el Día 4

Trabajador 10 asignado al Horario 8 el Día 1

Trabajador 10 asignado al Horario 8 el Día 3

Valor óptimo: 338.0

Mediante la ayuda de la librería openpyxl de Python imprimimos los resultados en un archivo de Excel.

```
# Crear un nuevo archivo de Excel
```

```
workbook = openpyxl.Workbook()
```

```
sheet = workbook.active
```

```
# Imprimir el estado del problema
```

```
sheet.append(["Estado:", pulp.LpStatus[problem.status]])
```

```
# Imprimir la asignación de trabajadores a horarios y días
```

```
sheet.append(["Trabajador", "Horario", "Día"])
```

```
for i in range(num_trabajadores):
```

```
    for j in range(num_horarios):
```

```
        for k in range(num_dias_semana):
```

```
            if pulp.value(asignacion[i, j, k]) == 1:
```

```
                sheet.append([f"Trabajador {i+1}", f"Horario {j+1}", f"Día {k+1}"])
```

```
# Imprimir el valor óptimo de la función objetivo
```

```
sheet.append(["Valor óptimo:", pulp.value(problem.objective)])
```

```
# Guardar el archivo de Excel
```

```
workbook.save("resultados5.xlsx")
```



Cerrar el archivo

```
workbook.close()
```