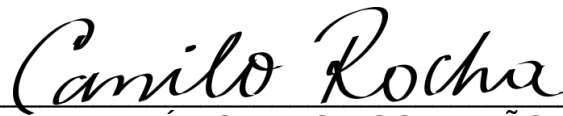


Nota de Aceptación:

Proyecto de Diseño Aprobado, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali para optar el título de Ingeniero Industrial.



HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO
Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias



JORGE ENRIQUE ÁLVAREZ PATIÑO
Director Carrera Ingeniería Industrial



DANIEL MORILLO TORRES
Director(a) Proyecto de Diseño



FABIÁN ANDRÉS CASTAÑO
GIRALDO
Jurado 1



HECTOR FABIO BONILLA
LONDOÑO
Jurado 2



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

Estimado Profesor Álvaro Figueroa

Buen día.

Como director del proyecto de diseño identificado con el código 2021105 titulado “Diseño de un modelo de asignación de personal polifuncional para la reducción de costos asociados a la fuerza laboral en el sector *retail*”. Informo que doy aval del documento final de PD II.

Grupo de Estudiantes:
Sofía Charry Alvernia
Ronaldo Caicedo Scarpetta
Jennifer Izquierdo Salazar
Sebastián Orjuela Isaza

Atentamente,

Daniel Morillo Torres, PhD
Profesor del Departamento de
Ingeniería Civil e Industrial.
Facultad de Ingeniería

Diseño de un modelo de asignación de personal polifuncional para la reducción de costos asociados a la fuerza laboral en el sector *retail*

Ronaldo Caicedo Scarpetta^{a,c}, Sofía Charry Alvernia^{a,c}, Jennifer Izquierdo Salazar^{a,c}, Sebastián Orjuela Isaza^{a,c}

Daniel Morillo Torres^{b,c}

^a*Estudiante de Ingeniería Industrial*

^b*Profesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial*

^c*Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia*

Resumen

El sector retail se ha caracterizado por la alta participación de la fuerza laboral operativa que requiere. En este contexto, factores como la variabilidad de la demanda representa uno de los grandes desafíos a la hora de llevar a cabo la asignación del personal, debido a los problemas de sub y sobredotación que representa. Lo anterior genera incrementos en los costos asociados al recurso humano, así como el deterioro en el nivel de servicio de las empresas. Una de las propuestas que ha demostrado grandes resultados ante fenómenos como este es el uso de fuerza laboral polifuncional, dado que permite generar una reducción en los costos de fuerza laboral [1]. A través de este proyecto, se diseñó un modelo de programación lineal adaptado al contexto colombiano, que aprovecha los beneficios de la implementación de polifuncionalidad en la asignación de personal. El proyecto parte de dos objetivos, aplicados a diferentes instancias con un número de departamentos y variación en la demanda distintos. El primero consiste en minimizar los costos asociados al recurso humano. En este caso, el modelo logró una reducción de hasta el 37%, siendo 4,7% la menor reducción obtenida en los costos totales. El segundo objetivo del proyecto consiste en lograr un nivel de servicio mínimo del 92%. Para este rubro, el modelo logró un aumento del 9% en relación con el método manual utilizado inicialmente, obteniéndose un nivel de servicio promedio de 97%. Los resultados indican también, que entre mayor sea la homogeneidad en la demanda de personal, mayor es la reducción porcentual de los costos totales. Adicionalmente, se evidenció que el uso de contratos con duraciones menores y turnos más variados permitía la satisfacción de los requerimientos de forma más eficiente.

Palabras claves: Sector retail, asignación de personal, polifuncionalidad, flexibilidad laboral.

Abstract

The retail sector has been known by the high participation of the operational workforce it requires. In this context, factors such as demand variability represent one of the great challenges when it comes to assigning personnel, due to the under and over-staffing problems it represents. This generates increases in the costs associated with human resources, as well as the deterioration in the level of service of the companies. One of the proposals that has shown remarkable results facing situations like this is the use of polyfunctional workforce, since it allows to generate a reduction in workforce costs [1]. Through this project, an adapted linear programming model was designed according to the Colombian context, which takes advantage of the benefits of the implementation of *multi-skilling* in the allocation of personnel. The project starts from two objectives, applied to different instances with a different number of departments and variation in demand. The first is to minimize the costs associated with human resources. In this case, the model achieved a reduction of up to 37%, with 4.7% being the smallest reduction obtained in total costs. The second objective of the project is to achieve a minimum service level of 92%. For this item, the model achieved an increase of 9% in relation to the manual method used initially, obtaining an average service level of 97%. The results also indicate that the more homogeneous the demand for personnel is, the greater the percentage reduction in total costs. Additionally, it was evidenced that the use of contracts with shorter durations and more varied shifts allowed the satisfaction of requirements more efficiently.

Key words: retail services, personnel scheduling, multi-skilling, workforce flexibility.

Tabla de contenido

I. PROJECT CHARTER	4
I. DEFINIR	6
A. Contexto y Justificación (¿por qué?)	6
B. Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?)	8
C. Requerimientos	10
II. MEDIR	13
A. Plan de recolección de datos	13
B. Exploración del mercado	15
III. ANALIZAR	20
A. Análisis de oportunidad	20
B. Revisión de literatura	21
C. Exploración de ideas y análisis de alternativas	23
D. Objetivos	25
E. Plan de Trabajo (PdT)	25
IV. DISEÑAR	27
A. Desarrollo del diseño de la solución	27
B. Validación del diseño propuesto	30
V. VERIFICAR	32
A. Medición de los impactos y resultados	32
B. Estandarización de la solución	39
C. Conclusiones	40
D. Recomendaciones	41
VI. GLOSARIO	41
VII. ANEXOS	42
VIII. REFERENCIAS	44

Índice de Tablas

TABLA I CLASIFICACIÓN DE LOS GRUPOS DE INTERÉS Y PONDERACIÓN DE IMPACTO E INFLUENCIA	8
TABLA II TABLA DE REQUERIMIENTOS	11
TABLA III APLICABILIDAD DE LA PROBLEMÁTICA	13
TABLA IV CONJUNTOS	15
TABLA V PARÁMETROS	15
TABLA VI PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN DEL EMPLEADOR A PRESTACIONES SOCIALES	18
TABLA VII INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR	18
TABLA VIII SITUACIÓN ACTUAL DE LOS KPI'S	19
TABLA IX VALOR DE KPI'S PARA ALTERNATIVAS DE INSTANCIA 6-20	20
TABLA X REVISIÓN DE LITERATURA	21
TABLA XI ANÁLISIS DE IDEAS	23
TABLA XII MÉTODO VISUAL	24
TABLA XIII PORCENTAJE DE IMPORTANCIA DE LOS CRITERIOS	24
TABLA XIV RESULTADO DINAL DE ALTERNATIVAS	24
TABLA XV PLAN DE TRABAJO	25
TABLA XVI ARCHIVOS Y DESCRIPCIONES	29
TABLA XVII RESULTADO DE R DE INSTANCIA 4-10%	30
TABLA XVIII RESULTADO PARCIAL DE PO PARA INSTANCIA 4-10%	31
TABLA XIX RESULTADO FINAL DE INDICADORES	35

TABLA XX RESULTADOS VARIANTE I VS MODELO INICIAL36

TABLA XXI RESULTADOS DE PERSONAL VARIANTE I VS MODELO INICIAL36

TABLA XXII RESULTADOS VARIANTE II.....37

TABLA XXIII RESULTADOS NIVEL DE SERVICIO VARIANTE III.....38

TABLA XXIV RESULTADOS DE COSTOS Y CONTRATACIÓN VARIANTE III38

TABLA XXV TABLA DE ANEXOS.....42

Índice de Figuras

Fig. 1. Variación anual 2019-2020 y variación año corrido 2020 [1]6

Fig. 2. Matriz Impacto-Influencia.....9

Fig. 3. Matriz DOFA14

Fig. 4. Demanda para empresa con tamaño de 6 departamentos y coeficiente de variación 10%17

Fig. 7. Prioridad secundaria de asignación19

Fig. 6. Prioridad inicial de asignación19

Fig. 8. Costos semanales de alternativas de instancia 6-20.....20

Fig. 9. Consolidado de costos de método actual y MPL32

Fig. 10. Distribución de contratos con método MPL por instancia.....33

Fig. 11. Distribución de contratos con método MPL33

Fig. 12. Distribución de contratos con método actual.....33

Fig. 13. Cantidad de personal polifuncional con método actual y MPL34

Fig. 14. Cantidad de personal en estado de subdotación con método actual y MPL34

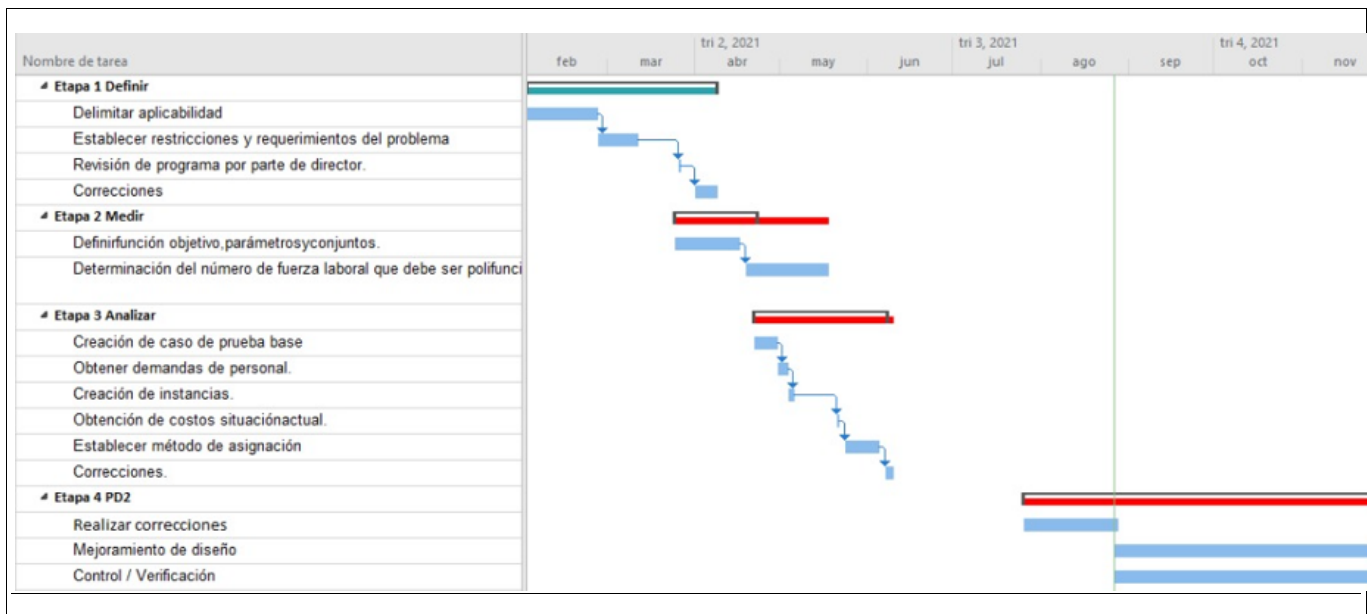
Fig. 15. Cantidad de personal en estado de sobredotación con método actual y MPL35

Fig. 16. Resultados de Variante IV38

I. PROJECT CHARTER

PROYECTO DE DISEÑO I																																	
<h1>Cuadro Seis Sigma</h1>																																	
Código: <u>2021105</u>		Tipo: <u>Investigación Aplicada</u>	Fecha: <u>08/27/2021</u>																														
<p>Diseño de un modelo de asignación de personal polifuncional para la reducción de costos asociados a la fuerza laboral en el sector retail</p>																																	
<p>Breve resumen del proyecto (Business case)</p> <p>El sector retail se ha caracterizado por la alta participación de la fuerza laboral operativa que requiere. Por esta razón, factores como la variabilidad de la demanda representan uno de los grandes desafíos a la hora de llevar a cabo la asignación del personal, debido a los problemas de sub y sobredotación que representa. Lo anterior, genera incrementos en los costos asociados al recurso humano, así como el deterioro en el nivel de servicio de las empresas. A través de este proyecto, se pretende diseñar un modelo de <i>programación lineal</i> adaptado al contexto colombiano, que aproveche los beneficios de la implementación de polifuncionalidad en la asignación de personal de manera tal que se minimicen los costos asociados al recurso humano.</p>																																	
<p>Problema (Problema statement)</p> <p>En Colombia, los grandes almacenes e hipermercados minoristas tuvieron un rápido crecimiento. Para hipermercados minoristas con un personal activo en promedio de 200 empleados, se registró un aumento de los ingresos pasando de \$28,2 mil millones anuales en el año 2011 a \$38,4 mil millones anuales en 2019 [1]. Sin embargo, factores como el creciente aumento en la competitividad en el mercado y el impacto de la pandemia del covid-19 originada en el primer trimestre del año 2020, han generado importantes reducciones en las ventas de este sector. Para enfrentar problemáticas como esta, se hace necesario implementar estrategias que permitan sobrellevar el comportamiento altamente variable de la demanda, mediante herramientas que eviten la sobre y subutilización de personal y, por tanto, los costos asociados a esto. Para ello, se plantea la construcción de un modelo de <i>programación lineal</i> que permita asignar a los trabajadores y capacitarlos en más de un departamento, de ser necesario, teniendo en cuenta las distintas condiciones de la empresa y el marco normativo del país.</p>		<p>Impacto en los actores (Business Need—Stakeholders)</p> <table border="1"> <caption>Matriz Impacto vs Influencia de los grupos de interés</caption> <thead> <tr> <th>Grupo de Interés</th> <th>Influencia (X)</th> <th>Impacto (Y)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equipo de proyecto</td><td>9.5</td><td>9.5</td></tr> <tr><td>Director del proyecto</td><td>9.0</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Empresas del sector retail</td><td>8.5</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>Semilleros de investigación</td><td>5.5</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>Fuerza laboral del sector retail</td><td>8.0</td><td>2.0</td></tr> <tr><td>Área logística</td><td>3.0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>Área financiera</td><td>4.0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>Consumidor final del sector retail</td><td>1.5</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>Ministerio del Trabajo</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr> </tbody> </table>		Grupo de Interés	Influencia (X)	Impacto (Y)	Equipo de proyecto	9.5	9.5	Director del proyecto	9.0	8.0	Empresas del sector retail	8.5	7.0	Semilleros de investigación	5.5	5.5	Fuerza laboral del sector retail	8.0	2.0	Área logística	3.0	1.0	Área financiera	4.0	1.0	Consumidor final del sector retail	1.5	1.0	Ministerio del Trabajo	1.0	1.0
Grupo de Interés	Influencia (X)	Impacto (Y)																															
Equipo de proyecto	9.5	9.5																															
Director del proyecto	9.0	8.0																															
Empresas del sector retail	8.5	7.0																															
Semilleros de investigación	5.5	5.5																															
Fuerza laboral del sector retail	8.0	2.0																															
Área logística	3.0	1.0																															
Área financiera	4.0	1.0																															
Consumidor final del sector retail	1.5	1.0																															
Ministerio del Trabajo	1.0	1.0																															
<p>Objetivo general (Goal statement)</p> <p>Diseñar un modelo de Programación Lineal Entera Mixta para la asignación y capacitación de personal, de acuerdo con las necesidades de la polifuncionalidad, considerando flexibilidad en la contratación con el fin de reducir los costos asociados a la fuerza laboral, teniendo en cuenta su adaptabilidad a las condiciones del comercio minorista en Colombia.</p>																																	
<p>Objetivos específicos (Project Scope)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caracterizar el problema de acuerdo con la normativa colombiana y a los supuestos tenidos en cuenta durante el desarrollo del proyecto. - Evaluar la situación actual de las instancias generadas, con el fin de verificar las oportunidades de mejora en el problema investigado. - Desarrollar un modelo de Programación lineal que permita una asignación adecuada de personal polifuncional con el fin de reducir costos de sobredotación y subdotación de personal. - Verificar si el modelo planteado logra producir una mejora en los indicadores establecidos respecto a la situación actual, haciendo uso de las <i>instancias</i> generadas, esto con el fin de conocer la viabilidad de los resultados alcanzados. 																																	
<p>Equipo de trabajo (Team members)</p>																																	
Ronaldo Caicedo Scarpetta	Sofía Charry Alvernia	Jennifer Izquierdo Salazar	Sebastián Orjuela Isaza																														

PLAN DE TRABAJO PROPUESTO



I.DEFINIR

A. Contexto y Justificación (¿por qué?)

El sector *retail* hace referencia al conjunto de empresas enfocadas a la comercialización masiva de productos o servicios en pequeñas cantidades, contando como mínimo con un personal promedio de 200 personas [1]. Este sector integra diversos servicios, como perfumería, perecederos, abarrotes, gasolina, consumo local, limpieza, bebidas, textil, mercado general y electrónico. En el caso particular de Colombia, se ha evidenciado un aumento en la competitividad del sector en el mercado, debido a la tendencia cada vez más prominente de los clientes por recibir una atención personalizada en todas las áreas conectadas con el consumidor [2].

En Colombia, los grandes almacenes e hipermercados minoristas tuvieron un rápido crecimiento. hipermercados minoristas con 200 empleados en promedio, registraron un aumento de los ingresos pasando de \$28,2 mil millones anuales en el año 2011 a \$38,4 mil millones anuales en 2019 [1]. Sin embargo, las ventas en el sector retail para el año 2020 disminuyeron en un 7,8% a comparación con la registrada en el año 2019. Lo anterior ocurrió debido a la pandemia del covid-19 originada en el primer trimestre del año 2020; las áreas de mayor contribución negativa fueron: combustibles para vehículos automotores con -2,9% y la compra de vehículos automotores y motocicletas con -2%. Por otra parte, la principal contribución positiva se vio registrada en el sector de alimentos, con una contribución de 1,3% [1]. Asimismo, el comercio minorista vía internet también tuvo un gran apalancamiento en el año 2020, al igual que el comercio electrónico, cuya participación fue de 52,9% para el sector retail [3]. En la Fig. 1 se muestran las variaciones registradas por el DANE en donde se evidencia variaciones negativas en ventas como también en personal ocupado por la industria; los resultados muestran la variación que se tuvo entre el año 2019 y 2020, de igual manera se muestra la variación año corrido para el 2020.

**Gráfico 1. Variación anual y año corrido de las ventas reales y el personal ocupado*
Total nacional
Diciembre 2020 P**

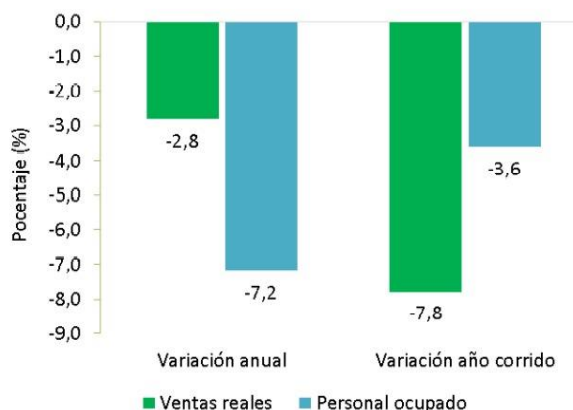


Fig. 1. Variación anual 2019-2020 y variación año corrido 2020 [1]

A pesar del golpe económico que sufrió el sector a causa de la pandemia, este fue uno de los sectores que siguió operando durante las fechas del confinamiento en todas las ciudades del país. Por tal motivo, es un sector que ha ido cobrando cada vez más relevancia al adquirir una mayor participación en el mercado.

Bajo este contexto, en la literatura se pueden encontrar numerosos trabajos enfocados en la reducción de costos en este sector. Dentro de las principales características, destaca el requerimiento de una alta participación de mano de obra operativa. Por ende, las empresas buscan minimizar los costos asociados a la gestión del recurso humano, sin afectar la calidad del servicio al cliente [4].

Sin embargo, el problema de asignación de personal a las distintas actividades de la forma más efectiva tiene un alto grado de dificultad, sobre todo teniendo en cuenta la presencia de polifuncionalidad, puesto que incrementa de forma significativa el número de combinaciones en su solución. Cabe resaltar que, cuando se incluye solamente personal especializado (personal no apto para polifuncionalidad) el problema ya es difícil de resolver, por lo que es catalogado como NP-hard[5], es decir, el tiempo de cómputo

para resolver problemas de tamaño realista es exponencial. La polifuncionalidad aumenta su complejidad debido a que posee muchas características que amplían el número de posibilidades de asignación como lo son los turnos, las jornadas laborales, el número de trabajadores, los días trabajables, los tipos de contrato, la cantidad de departamentos, los tiempos de descanso, preferencias personales de los trabajadores, entre otros. Por esto, el problema considerando polifuncionalidades se ha clasificado como NP-completo [4].

En los últimos años, diferentes autores[6]–[8], han llevado a cabo estudios para el diseño de una política con personal polifuncional, con el fin de permitir a la empresa contar con una mayor flexibilidad en el desarrollo de sus actividades y poder contrarrestar la variabilidad de la demanda, en especial cuando la demanda es *estocástica*, disminuyendo la sobredotación o sub dotación de personal [4]. La sobredotación de personal se refiere a los periodos donde se evidencia exceso de personal en determinadas actividades, mientras que la sub dotación hace referencia a la ausencia de operarios en actividades que demandan mayor cantidad de personal en determinados periodos de tiempo. Estas situaciones pueden generar pérdidas por falta o exceso de personal [4].

Uno de los principales obstáculos para implementar una política polifuncional, es el costo asociado a la capacitación del personal brindadas por diferentes empresas a nivel nacional, algunas de estas son Emagister, Centro de Capacitación Don Bosco, Centro de Capacitación CENCAC, CCED, entre otros. Con respecto al costo en mención, las empresas generalmente prefieren no hacer dicha inversión, repercutiendo en su competitividad. Esto se debe a que las empresas suelen desconocer que la implementación adecuada de la polifuncionalidad puede resultar más costo efectivo a mediano plazo [9].

Durante un estudio realizado en 2007 para empresas del sector de prestación de servicios, a partir de la simulación de datos, se observó que la disposición de personal especializado (empleados con una sola habilidad) en cada actividad, resultaba ineficiente, debido a que no era posible satisfacer el comportamiento altamente variable de la demanda. A causa de esto, se generó personal inactivo en los periodos de baja demanda, subutilizando la capacidad de producción [10]. Con base en estudios como este, ha surgido la necesidad de explorar sistemas de polifuncionalidad del personal. Asimismo, en [11] mediante un modelo de asignación de personal polifuncional, lograron un incremento de 17,8% en su rendimiento implementando estrategias como *cherry picking*, que asigna a los trabajadores inactivos a otras estaciones que presenten cuellos de botella y la estrategia *skill chaining*, que establece que solo trabajadores entrenados y asignados a dicho fin, pueden ayudar en donde se encuentra el cuello de botella.

Por otra parte, investigaciones como la de [12], han demostrado que, a mayores niveles de variación en la demanda, menores fueron los rendimientos de la política 2-chaining ($k=2$). Sin embargo, las k -chaining (donde k hace referencia al número de habilidades en las que se puede desempeñar un trabajador) con $k>2$ conservaron altos niveles de rendimiento, para niveles altos de variación en la demanda. Esto sugiere que, a mayor incertidumbre en la demanda, se logran mayores rendimientos con el aumento de la flexibilidad del encadenamiento ($k>2$). No obstante, en este mismo estudio, se probó también, que la curva de crecimiento de los rendimientos se estabiliza, a medida que el k aumentaba. En conformidad con ambos argumentos, resulta muy llamativo, en términos de oportunidad, reducir costos y aumentar la productividad, mediante políticas de flexibilidad con $k>2$, para la industrial retail. Pero se debe tener presente que un k muy alto, podría ser impráctico e innecesario.

Lo anterior, logra soportar la viabilidad de capacitar personal polifuncional, al resultar más costo-efectiva y brindar beneficios a las empresas, tales como: el aumento en la productividad en los procesos, la eliminación de cuellos de botella y la disminución de costos de mano de obra, alcanzando incrementos en el rendimiento.

Definición del problema

Con base en [4], [8], [13] es posible definir el problema como uno de asignación de personal, que busca planificar la fuerza laboral en una o múltiples tareas (polifuncionalidad), para la industria *retail* específicamente hablando de supermercados de cadena. Lo anterior, con el objetivo de reducir costos y mitigar los efectos de la sobredotación y sub dotación de personal. Para ello, se plantea diseñar un modelo de *programación lineal* que determine el plan de capacitación de los empleados, asumiendo que en principio se encuentran capacitados para ejercer en un único departamento y que, a su vez, asigne a cada uno en las actividades que lo requieran.

Partiendo de lo anterior, en el problema se consideró que los trabajadores cuentan con cierto tipo de contrato definido (horas de trabajo semanales) y unas jornadas determinadas (duración de turno). También, que se cuenta con un número de operarios definido, una secuencia de días laborales (en donde cada secuencia cuenta con siete valores binarios donde 1 indica los días de trabajo y 0 como día de descanso), un número de departamentos conocido, unos tiempos de descanso preestablecidos y unas preferencias personales de los trabajadores (en cuanto a horarios). Adicionalmente, se consideran ciertas restricciones para el modelo, incluyendo una que garantiza que los trabajadores sean capacitados en un máximo de áreas. Se debe aclarar que el modelo puede aplicarse a distintos contextos que requieran la asignación de recursos, este se adaptó a las normativas y entorno colombiano para la determinación de los conjuntos y parámetros.

B. Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?)

Los grupos de interés que se presentan en el proyecto son los siguientes:

- Empresas del sector *retail*.
- Director del proyecto.
- Equipo de proyecto
- Semilleros de investigación.
- Fuerza laboral del sector *retail*.
- Área financiera.
- Área logística.
- Consumidor final del sector *retail*.
- Ministerio del trabajo.

Tras definir las partes interesadas en el desarrollo del proyecto, se procede a presentar la TABLA I. Dicha tabla contiene la descripción de los grupos interesados de manera detallada, así como el efecto de estos en el proyecto y la respectiva calificación, que en cada caso, ha sido asignada al impacto y la influencia de los interesados, siendo el primero su capacidad para efectuar cambios en la ejecución o la planificación del mismo y el segundo, el involucramiento activo de cada uno en el proyecto.

el impacto y la influencia de los grupos de interés se miden del 1 al 10 de manera que:

- 1-2 Muy bajo.
- 3-4 Bajo.
- 5-6 Medio.
- 7-8 Alto.
- 9-10 Muy alto.

TABLA I
CLASIFICACIÓN DE LOS GRUPOS DE INTERÉS Y PONDERACIÓN DE IMPACTO E INFLUENCIA

Grupos interesados	Descripción	Efecto (del proyecto en los interesados)	Influencia	Impacto
Empresas del sector supermercados de cadena	Sector encargado de comercializar productos al consumidor final.	Generaría un aumento directo en la productividad del sector y permitiría una reducción de costos a largo plazo	8	7
Equipo del proyecto	Equipo encargado de llevar a cabo el proyecto.	Fortalecimiento de habilidades de programación e investigación.	10	9
Semilleros de investigación	Grupos de investigación que buscan generar aportes en determinadas áreas.	Generación de fuentes de información para abarcar o retomar el proyecto y hacer profundizaciones en el área.	6	5

Fuerza laboral del comercio minorista	Empleados encargados del comercio minorista	El aumento en las capacidades y la formación de los empleados aumentaría y como beneficio, dispondrán de más oportunidades de empleo, además de aumentar la productividad en las empresas.	8	2
Área financiera del comercio minorista	Departamento encargado de los registros contables, la planificación y el análisis de estos datos y de los hechos económicos de la organización.	Reducción de costos en la mano de obra por parte de las empresas beneficiarias en esta área, pudiendo destinar recursos hacia otros departamentos de la empresa.	4	1
Área logística del comercio minorista	Departamento encargado del transporte, planificación, almacenamiento y control de inventarios de los productos de una empresa.	Incremento en la disponibilidad de los recursos (capital humano) para hacer una adecuada asignación del personal polifuncional a las diferentes tareas, aumentando así la productividad de la empresa.	3	1
Consumidor final comercio minorista	Persona que hace uso del producto adquirido en este sector.	Mejoraría la atención al consumidor, al disponer de personal en capacidad de atender adecuadamente al cliente, aumentando así el nivel de servicio.	2	1
Ministerio del trabajo	Encargado de construir acuerdos, promover el empleo digno, proteger los derechos de los trabajadores colombianos, fomentar la calidad del talento humano y garantizar que los trabajadores cuenten con protección social [13].	N/A	1	1

Teniendo en cuenta la información especificada en la TABLA I, se realizó una matriz de influencia vs impacto, Fig.2. Dicha matriz integra a los interesados teniendo en cuenta su influencia (involucramiento activo de los interesados) y el impacto (capacidad para efectuar cambios en la ejecución o la planificación del proyecto). (Anexo No.1).

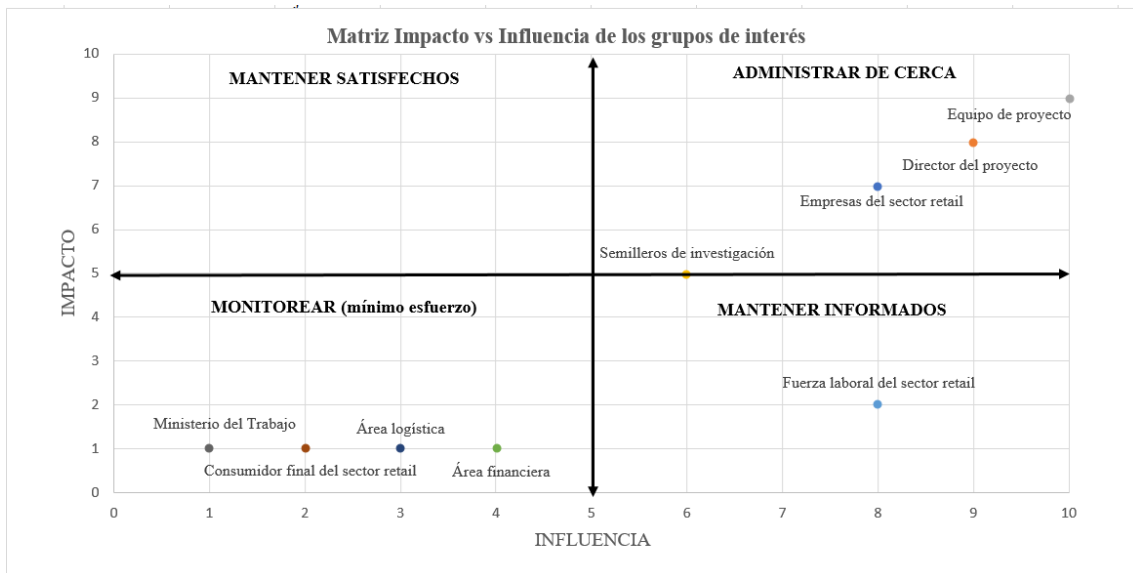


Fig. 2. Matriz Impacto-Influencia

Según la Fig. 2. la mayoría de las partes interesadas tienen un nivel muy bajo de impacto y un nivel bajo de influencia. Esto se debe a que el proyecto no está enfocado a una empresa en específico cuyos estándares se deban satisfacer; por el contrario, se trata de un proyecto con aplicabilidad en el sector *retail* en general. Por esta razón, la fuerza laboral y las empresas de este sector tienen

un alto nivel de influencia, pese a tener un muy bajo nivel de impacto. Por otro lado, el equipo de trabajo y el director del proyecto tienen un impacto e influencia muy alto, debido a que son aquellas partes directamente involucradas con la ejecución del proyecto.

Conforme a lo anterior, se pueden categorizar las partes interesadas de la siguiente manera:

- **Monitorear:** las partes interesadas que se encuentran en este cuadrante deben ser monitoreadas, ya que su actividad es del interés del equipo, pero ellos no requieren ser informados de manera rigurosa acerca del proyecto.
- **Administrar de cerca:** las partes interesadas que se encuentran en esta área deben de estar conectadas con el desarrollo del proyecto e involucradas al máximo para mantenerlos satisfechos.
- **Mantener informados:** las partes interesadas en este cuadrante no cuentan con mucho poder sobre el proyecto, pero tienen un alto nivel de interés en los resultados del mismo, razón por la cual deben mantenerse informados.

C. Requerimientos

Se identificaron los requerimientos de cada parte interesada y los supuestos que se tomaron como punto de partida para el diseño de este proyecto, con el fin de cumplir y satisfacer las necesidades y expectativas de cada una de las partes interesadas. Por ende, se realiza una clasificación de los requerimientos mediante la identificación de restricciones, especificaciones, normas, leyes y estándares que se deben seguir para garantizar el éxito del proyecto. Se debe aclarar que se cuenta con restricciones de dos tipos; unas ligadas al desarrollo del proyecto, como lo son las fechas y otras ligadas directamente con el modelo matemático. Las restricciones identificadas para el modelo matemático hacen referencia a ecuaciones que muestran relaciones que deben ser respetadas, como lo es el tiempo de trabajo de un operario, el cual debe ir limitado por el mínimo de horas que debe cumplir en el día de trabajo. Las restricciones que irán directamente al modelo matemático son las siguientes:

- **Empleados requeridos por departamentos o área de la empresa:** número de empleados que son demandados en los diferentes departamentos o áreas de la empresa para ejercer determinadas tareas en diferentes espacios del día y de la semana laboral
- **Horas de trabajo de la empresa:** El número de horas de trabajo de la empresa es de suma importancia debido a que esta abarca la planeación respecto a la ubicación del personal, bajo el condicionamiento de los cambios de turno existentes durante el transcurso del día.
- **Turnos:** los turnos de trabajo se definen como un periodo de entrada y salida al trabajo.
- **Secuencia días laborales:** Se define como un arreglo de siete valores binarios señalando los días de trabajo como 1 y los días de descanso como 0.
- **Tipos de contratos:** se tienen en cuenta los tipos de contrato preestablecidos, donde cada tipo de contrato tiene un número máximo de horas de trabajo por semana.
- **Áreas o departamentos de la empresa:** Su relevancia consiste en el interés por el conocimiento del número de áreas o departamentos de la empresa, en vista de la capacidad para clasificarlos como un tipo de tarea dentro de la organización.
- **Horas de trabajo permitidas para los empleados:** Se debe tener en cuenta el número máximo de horas diarias que por norma legal las personas están obligadas a cumplir dentro de una empresa.

Luego del reconocimiento de las anteriores restricciones, se presentan los supuestos que se tuvieron en cuenta para el diseño de la formulación del modelo de *programación lineal*. Dichos supuestos son: las demandas entre periodos son independientes; los tiempos de capacitación no se tienen en cuenta, debido a que la complejidad de las tareas en el sector no es muy significativa [5]; no se consideran contrataciones iniciales o despidos.

En la TABLA II se observa la clasificación de los requerimientos identificados, teniendo en cuenta la importancia de cada uno de ellos para cada grupo de interés. Se debe aclarar que la información sobre requisitos se obtuvo de documentos académicos que estudian los intereses del sector [4].

TABLA II
TABLA DE REQUERIMIENTOS

GRUPOS DE INTERÉS	VoC (REQUISITOS GRUPOS DE INTERÉS)	RESTRICCIONES DE DISEÑO	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	LEYES, NORMAS Y ESTÁNDARES	
				Legislación y Requisitos Aplicables	Importancia o Efecto
Empresas supermercados de cadena.	Lograr una gestión de personal costo efectiva que aporte a la flexibilidad de la empresa para poder afrontar las distintas condiciones que se presenten [14].	Número de empleados requeridos en cada departamento o tarea, en los diferentes periodos del día y días de la semana.	Reducir los costos asociados a la asignación y capacitación de personal por departamento	N/A	
		Horas de operación de la empresa.	Asignación costo efectiva de personal dentro de la franja horaria, desde la hora de apertura hasta la hora de cierre.	N/A	
		Áreas o departamentos de la empresa.	Hace referencia a los espacios en donde se llevan a cabo las diferentes tareas [4]. Por tanto, se busca reducir los costos de personal, dependiendo de las áreas o departamentos que se tengan.	N/A	
		Tipos de contratos laborales de los operarios en la empresa.	Reducir los costos asociados a la asignación de personal respetando los contratos existentes.	Código sustantivo del trabajo 2011 <ul style="list-style-type: none"> ● Duración de contratos Artículo No.45 ● Contrato a término fijo. Artículo No.46 ● Contrato término indefinido o ejecución de trabajo ocasional. Artículo No.47 	
Equipo del proyecto	Lograr de manera satisfactoria el desarrollo del proyecto, adquiriendo nuevo conocimiento y experiencia para los integrantes del equipo.	Fechas de entrega del proyecto.	Se deben desarrollar los objetivos del proyecto en las fechas establecidas, mostrando compromiso y comprensión del proyecto.	N/A	
		Tiempo de entrega de tareas asignadas a cada miembro del equipo.		N/A	
Semilleros de investigación	Desarrollo del proyecto bajo el marco normativo de IEEEE, y con uso de información confiable.	Documentos confiables que proporcionan información verificable	Cumplir con la utilización de información clara y confiable, para que los semilleros de investigación tengan como base para futuros proyectos.	N/A	
Fuerza laboral de supermercados de cadena	Respeto del contrato laboral, sin llegar a generar sobrecargas en el personal o vulnerar sus derechos.	Horas de trabajo permitidas.	Garantizar el cumplimiento las horas de trabajo, que servirán como un límite para que la fuerza laboral evite sobrecargas de trabajo.	Jornada laboral ley 1920 de 2018 <ul style="list-style-type: none"> ● Turno de trabajo sucesivo (Artículo No.131) ● Turno de trabajo no sucesivo (Artículo No. 165) ● Turno en trabajos sin solución de continuidad (Artículo No. 166) 	Su importancia radica en que esta establece la regulación de horas máximas permitidas diarias y semanales para cada modalidad de jornada laboral existente en Colombia.

		Tipos de contratos laborales.	Respetar los tipos de contratos que tienen los empleados para así generar sus respectivas asignaciones.	Código sustantivo del trabajo 2011 <ul style="list-style-type: none"> ● Duración de contratos Artículo No.45 ● Contrato a término fijo. Artículo No.46 ● Contrato término indefinido o ejecución de trabajo ocasional. Artículo No.47 	Este Código presenta las condiciones de duración de los tipos de contratos y las condiciones de renovación o cancelación de los mismos.
Área financiera de supermercados de cadena	Cumplimiento de presupuestos dados y buena distribución de los recursos.	Presupuesto para la implementación de capacitación de empleados polifuncionales.	Respetar el presupuesto que establezca el área financiera. Esto limitara los recursos destinados a la capacitación de empleados polifuncionales.	● Ley 603 del 2000	Licencias de programas especializados en la resolución de problemas de modelación matemática.
Área logística de supermercados de cadena	Efectividad en la política adoptada, en términos logísticos.	Número de empleados pertenecientes a la empresa.	Asignar la cantidad adecuada de personal especialista, más personal polifuncional en cada área o departamento para mejorar el servicio al cliente y reducir costos de sobredotación y sub dotación, por lo cual vela el área logística.	N/A	
Consumidor final de supermercados de cadena	Un nivel de servicio igual o mejor que el actual.	Tiempo de atención.	Cumplimiento de la demanda del consumidor final.	● Ley 1480 de 2011	Esta ley protege al consumidor para que su proveedor le brinde productos de calidad.
Ministerio del Trabajo	Respeto de los derechos del trabajador.	Horarios permitidos y contratos.	Garantizar la no vulneración de los derechos de los trabajadores, de acuerdo con las pautas establecidas por el ministerio de trabajo.	Declaración Universal de los Derechos Humanos, artículo 23	“Toda persona tiene derecho al trabajo, a la libre elección de su trabajo, a condiciones equitativas y satisfactorias de trabajo y a la protección contra el desempleo” [13].

II.MEDIR

A. Plan de recolección de datos

Como se mencionaba en la etapa anterior, muchos autores han evaluado distintos enfoques de flexibilidad laboral llegando a conclusiones verificables y positivas en los rendimientos y reducción de costos asociados a la asignación de su personal. En la TABLA III se exponen algunos de los artículos científicos que muestran resultados sólidos.

TABLE III
APLICABILIDAD DE LA PROBLEMÁTICA

Nombre	Autores	Caso aplicado	Problema (qué se busca)	Resultados
Hybrid flexibility strategy on personnel scheduling: Retail case study	Porto, Andrés Felipe Henao, César Augusto López-Ospina, Héctor González, Esneyder Rafael [6].	Modelo de programación lineal de enteros mixtos (MILP) para asignación de personal, que combina contratos flexibles y polifuncionalidad en el contexto de un retail de Santiago de Chile.	Identificar cantidad de empleados polifuncionales o especializados en una única tarea, y en qué departamentos serán capacitados y bajo qué tipo de contrato con el objetivo de minimizar costos asociados a la fuerza laboral en 9 diferentes escenarios, con distintos niveles de cambios en la demanda del personal y tamaños de la tienda.	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro del 71% en costos al implementar contratos flexibles. Ahorro del 5% al implementar polifuncionalidad (por el tipo de demanda). Ahorro del 77% en enfoques híbridos (polifuncionalidad y contratos flexibles). Generó niveles mínimos de subdotación de personal y niveles máximos de cobertura de la demanda (cerca del 100%)
Benefits of Skill Chaining in Serial Production Lines with Cross-Trained Workers	Hopp, Wallace J. Tekin, Eylem Van Oyen, Mark P. [11].	Estudio de los beneficios logísticos de la capacitación cruzada de los trabajadores (polifuncionalidad) y las políticas de fuerza laboral ágil, utilizando 9 heurísticas diferentes en sistemas de producción en línea.	Se busca aumentar la eficiencia en las líneas de producción, identificando las mejores estrategias de capacitación cruzada de trabajadores (cherry picking o skill chaining), así como las habilidades que son estratégicamente más deseables.	Las estrategias basadas en 2SC (capacitación en 2 áreas consecutivas de la línea productiva) para cambiar la capacidad indirectamente entre estaciones, suelen ser mucho más efectivas, particularmente en sistemas con alta variabilidad o bajo WIP (trabajo en proceso).
Modelos de Programación Matemática para asignación de pabellones quirúrgicos en hospitales públicos	Patricio Wolff [15].	Programación de actividades quirúrgicas en un centro médico de Chile. Se recurre a una clasificación de criterios con el fin de dar resultados más cercanos a la realidad	Pretende impactar y mejorar el nivel de rendimiento del sistema disminuyendo las esperas de los pacientes atendidos, haciendo uso eficiente de los recursos humanos.	En el escenario aplicado se pudo alcanzar una mejora en los indicadores usados entre un 10% a 15%, frente al método manual con el cual hacían las asignaciones requeridas. Debido a lo anterior los hospitales pueden aumentar significativamente el número de pacientes atendidos sin aumentar costos en recursos humanos.
Programación de la fuerza laboral de las tiendas minoristas según la maximización de los ingresos operativos esperados	Nicolas Chapados Marc Joliveau Louis-Martin Rousseau [16].	Se desarrolla con datos de 15 tiendas minoristas; busca el aumento de ingresos operativos esperados que dependen del personal de ventas. Se propone un sistema de pronóstico que proporciona datos para el modelo.	Analizar el comportamiento histórico de las ventas en función de la fuerza laboral con el fin de construir un modelo <i>estocástico</i> para la construcción de las curvas de ventas que se utilizan para la programación de horarios de empleados maximizando las ganancias esperadas mediante modelación matemática entera mixta.	Incremento en los ingresos operativos esperados de un 2% a un 3%, en comparación con otras metodologías de referencia. Programación óptima en periodos de una semana.
Modeling the benefits of cross-training to address the nursing shortage	Jomon Aliyas Paul Leo MacDonald [17].	Se centraliza en la escasez de enfermeras en Estados Unidos mediante un modelo matemático que optimiza y evalúa los beneficios de la capacitación cruzada, utilizando demanda <i>estocástica</i> .	Abarca el problema de la escasez de enfermeras y su potencial para impactar positivamente en la seguridad y ayudar a reducir la probabilidad de mortalidad de los pacientes.	<ul style="list-style-type: none"> El entrenamiento cruzado, reduce el número total de enfermeras requeridas. Nivel de servicio del 75%, con nivel de calidad mínimo de 0,9, lo que permite la reducción de personal en departamentos con alta demanda.
Real-time recovering strategies on personnel scheduling in	Michael Mac-Vicar Juan Carlos Ferrer Juan	Algoritmo iterativo que resuelve un modelo de programación de enteros mixtos utilizando la generación de columnas. Se evalúan las alternativas de ajuste	Se busca maximizar las ganancias, favoreciendo soluciones con menos modificaciones de horario para minimizar la insatisfacción de los trabajadores.	Los resultados de una cadena minorista chilena muestran que, en el peor escenario, los ajustes de cronograma del modelo propuesto redujeron las

the retailindustry	Carlos MuñozCésar Augusto Henao [18].	de programación mediante una rutina de búsqueda local y aplicando con avidez los ajustes más beneficiosos.		ganancias perdidas debido a variaciones inesperadas en un 18%.
Structural Flexibility: A New Perspective on the Design of Manufacturing and Service Operations	Seyed M. Iravani Mark P. Van Oyen Katharine T. Sims. [7].	Dirigido a modelos de operación con N fuentes de producción que enfrentan K tipos de demanda. Aplica cuando no se tiene información precisa del entorno (demanda o capacidad) por falta de disponibilidad o confiabilidad. (Ejemplo: Call-Center)	Desarrollo de un método simple que calcula un índice para las alternativas de estructura, para predecir aquella con un mejor rendimiento sin recurrir a información precisa sobre los patrones de cambio en el sistema.	Para aplicaciones de entrenamiento cruzado, no es suficiente que una empresa proporcione buen acceso a la formación. La estructura del sistema tiene impacto en la flexibilidad y la estructura. Utilizar multifuncionalidad para conectar estructuras favorece el aumento de flexibilidad y capacidad

Asimismo, se utilizó la herramienta PESTEL para evaluar el entorno en el que se desarrolla el proyecto desde diferentes factores externos como políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales (Véase anexo No.4) que sirvieron como base para realizar la matriz DOFA con el análisis de factores internos como se puede evidenciar en la Figura No.3



Fig. 3. Matriz DOFA

B. Exploración del mercado

Se analizó el impacto de la polifuncionalidad en el contexto colombiano mediante búsqueda de información en plataformas de empleo y entrevistas (Véase Anexo No.5) realizadas a empresas del sector retail que permitieran entender el manejo del personal en esta industria a nivel nacional. También se utilizó información procesada y simulada, basándose en bases de datos de artículos científicos de proyectos similares. Por tal motivo, para la definición de los conjuntos de la Tabla IV fue necesario realizar los siguientes supuestos: (i) El periodo de operación de la empresa corresponde al horario entre las 6:00am y las 9:00pm, que hace referencia al horario diurno de trabajo establecido en el Código Sustantivo del trabajo[19], (ii) la duración del turno de trabajo es fijo para todos los días de la semana y dependerá del tipo de contrato que la empresa maneje con el operario, debido a que las horas laborales varían dependiendo del mismo.

Las Tablas IV y V señalan los conjuntos y parámetros para una empresa con seis departamentos. Cabe resaltar, que se van a considerar diferentes tamaños de empresa, donde el tamaño representa el número de departamentos. Los tamaños serán de 4, 5 y 6 departamentos respectivamente.

TABLA IV CONJUNTOS

Notación	Descripción	Valores
Conjuntos		
D	Días de la semana, indexados por d .	$D = \{1,2,3,4,5,6,7\}$
P	Periodos de tiempo en los que se divide el tiempo de operación de la empresa, indexados por p . Cada periodo tiene una longitud de una hora.	$P = \{1,2,3,\dots,16\}$
C	Tipos de contrato, indexados por c . Ej: El tipo de contrato 1 (C20), indica un contrato laboral donde el trabajador debe laborar 20 horas semanales.	$C = \{1,2,3,4,5,6,7,8\}$ $c=1 \rightarrow C20 \quad c=3 \rightarrow C30 \quad c=5 \rightarrow C40 \quad c=7 \rightarrow C50$ $c=2 \rightarrow C24 \quad c=4 \rightarrow C36 \quad c=6 \rightarrow C48 \quad c=8 \rightarrow C60$
Ll	Departamentos de la empresa, indexados por l .	$L = \{1,2,3,4,5,6\}$
Wg	Conjunto de habilidades, indexados por w . Incluye subconjuntos con una sola habilidad y subconjuntos con máximo dos habilidades.	$Wg = \{1,2,3,\dots,16\}$
Conjuntos adicionales		
T _c	Turnos de empleado por tipo de contrato c . $\forall c \in C$	$T_c = \{1,5,9,13,17,21,25,28,31,33,35,36\} \forall T_1, T_2;$ $T_c = \{2,6,10,14,18,22,26,29,32,34\} \forall T_3, T_4;$ $T_c = \{3,7,11,15,19,23,27,30\} \forall T_5, T_6;$ $T_c = \{4,8,12,16,20,24\} \forall T_7, T_8;$
L _w	Subconjunto de departamentos que se incluyen en el conjunto de habilidades, $w \in Wg$	$L_1 = 1; \quad L_2 = 1,2; \quad L_3 = 1,3; \quad L_4 = 1,4; \quad L_5 = 2,1; \quad L_6 = 2;$ $L_7 = 2,3; \quad L_8 = 2,4; \quad L_9 = 3,1; \quad L_{10} = 3,2; \quad L_{11} = 3; \quad L_{12} = 3,4;$ $L_{13} = 4,1; \quad L_{14} = 4,2; \quad L_{15} = 4,3; \quad L_{16} = 4;$
W _l	Subconjunto de habilidades que incluyen al departamento l , $l \in Ll, W_l \subseteq Wg$.	$W_1 = \{1,2,3,4\}; \quad W_2 = \{2,6,7,8,10,14\};$ $W_3 = \{3,7,10,11,12,15\}; \quad W_4 = \{4,8,12,14,15,16\};$
N _c	Subconjunto de secuencias de días a trabajar (Arreglos de siete valores binarios que indica los días de trabajo 1 y descanso 0) asociados al tipo de contrato c , $c \in C$.	$N_c = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21\}$ $\forall c \in C, c \in C$ $N_c = \{22,23,24,25,26,27,28\} \forall c \in C, c \in C$
W _i	Subconjunto de habilidades cuyos departamentos asociados no son compatibles entre sí, $W_i \subseteq Wg$.	$W_i = \{5,9,13\};$
W _w	Subconjunto de habilidades cuyos departamentos asociados son compatibles, entre sí. $W_i \subseteq Wg, Wg - W_i = Wg$.	$W_w = \{1,2,3,4,6,7,8,10,11,12,14,15,16\};$
W _m	Subconjunto de habilidades compatibles y polifuncionales. Es decir, no abarca especialidades. $W_m \subseteq Ww$	$W_m = \{2,3,4,7,8,10,12,14,15\};$

TABLA V PARÁMETROS

Notación	Definición	Valores	Fuente o lugar de procedencia
HIP _p	Hora de inicio del periodo p . $p \in P$	$HIP_p = \{6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20\}$	Exploración del mercado- Casos de empresas colombianas entrevistadas o consultadas. (Anexo No.8)
HFP _p	Hora de finalización del periodo p . $p \in P$	$HFP_p = \{7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21\}$	
HIT _t	Hora de inicio del turno t . $c \in C, c \in C$	$HIT_1 = 6 \forall t \in \{1,2,3,4\}; \quad HIT_{10} = 10 \forall t \in \{17,18,19,20\}; \quad HIT_{14} = 14 \forall t \in \{31,32\};$ $HIT_7 = 7 \forall t \in \{5,6,7,8\}; \quad HIT_{11} = 11 \forall t \in \{21,22,23,24\}; \quad HIT_{15} = 15 \forall t \in \{33,34\};$ $HIT_8 = 8 \forall t \in \{9,10,11,12\}; \quad HIT_{12} = 12 \forall t \in \{25,26,27\}; \quad HIT_{16} = 16 \forall t \in \{35\};$ $HIT_9 = 9 \forall t \in \{13,14,15,16\}; \quad HIT_{13} = 13 \forall t \in \{28,29,30\}; \quad HIT_{17} = 17 \forall t \in \{36\};$	

HFT_t	Hora de finalización del turno $t. c \in C, c \cup T_c$	$HFT_p=6 \forall t 1,2,3,4;$ $HFT_p=10 \forall t 17,18,19,20;$ $HFT_p=14 \forall t 31,32;$ $HFT_p=7 \forall t 5,6,7,8;$ $HFT_p=11 \forall t 21,22,23,24;$ $HFT_p=15 \forall t 33,34;$ $HFT_p=8 \forall t 9,10,11,12;$ $HFT_p=12 \forall t 25,26,27;$ $HFT_p=16 \forall t 35;$ $HFT_p=9 \forall t 13,14,15,16;$ $HFT_p=13 \forall t 28,29,30;$ $HFT_p=17 \forall t 36;$	
HSC_c	Horas laborales semanales por tipo de contrato $c. c \in C$	$HSC_1=20;$ $HSC_2=24;$ $HSC_3=30;$ $HSC_4=36;$ $HSC_5=40;$ $HSC_6=48;$ $HSC_7=50;$ $HSC_8=60;$	Se establecen a partir de contratos usualmente adoptados por empresas de retail (Anexo No.8) , pero se incluyen otras posibilidades bajo el marco normativo del Código Sustantivo del Trabajo [19].
HDC_c	Horas laborales diarias por trabajar por tipo de contrato $c. c \in C$	$HSC_1=4;$ $HSC_2=4;$ $HSC_3=6;$ $HSC_4=6;$ $HSC_5=8;$ $HSC_6=8;$ $HSC_7=10;$ $HSC_8=10;$	
LT_t	Duración en horas del turno $t. c \in C, c \cup T_c$	$LT_1= 4 \forall t \in T_1,T_2;$ $LT_1= 6 \forall t \in T_3,T_4;$ $LT_1= 8 \forall t \in T_5,T_6;$ $LT_1= 10 \forall t \in T_7,T_8;$	Se tuvo en cuenta la normatividad del Código Sustantivo del Trabajo [19].
CF	Costo de subdotación de personal en periodo $p. p \in P$	$CF = 4\ 698\ COP/periodo * faltante$	Se tomaron los costos utilizados por Henao en [20] y se adaptaron a costo por número de faltantes, convertidos a la divisa colombiana. una TRM de COP 3 746 pesos tomada de la plataforma Bloomberg [21].
CE	Costo de sobredotación de personal en periodo $p. p \in P$	$CE = 1\ 155\ COP/periodo * sobrante$	
CSH_c	Costo del salario por hora por tipo de contrato. $c \in C$	$CSH = 4\ 342\ COP/hora \forall c 1,2,3,4,5$ $CSH_6= 6\ 623\ COP/hora$ $CSH_7= 9\ 181\ COP/hora$ $CSH_8= 7\ 933\ COP/hora$	Exploración del mercado de empresas colombianas para estimación del salario base, donde se tuvo en cuenta la Ley 100 de 1993 para la inclusión de prestaciones sociales en los casos que aplica. (Véase anexo No.21)
CCap	Costo de capacitación	$CCap= 4\ 342\ COP$	Se asume como el costo de salario por hora.
Penalizac ión	Costo de penalización para el nivel de servicio	Penalización = \$500.000	
Min_NS	Nivel de servicio mínimo a alcanzar	Min_NS =0.92	
BD_{nd}	Binaria que bloquea la asignación el día(s) de descanso d para la secuencia $n. c \in C, d \in D, c \cup N_c$	$BD_{1d}=\{0,0,1,1,1,1,1\};$ $BD_{2d}=\{0,1,0,1,1,1,1\};$ $BD_{3d}=\{0,1,0,1,1,1,1\};$ $BD_{4d}=\{0,1,1,1,0,1,1\};$... $BD_{28d}=\{0,1,1,1,1,1,1\};$	Véase anexo No.36

La demanda hace referencia al número de personas requeridas por departamento en diferentes periodos del día y con base en esto se generan las asignaciones pertinentes para cada departamento, por ende, fue generada haciendo uso del software C++ (Véase Anexo No. 10), replicando la metodología de [20] que considera una simulación de Montecarlo. Esta consiste en el uso de datos reales tomados de una tienda minorista chilena (Véase Anexo No. 11) y genera una perturbación bajo la suposición de *normalidad en la demanda*. La estimación de los parámetros de la función de distribución se realizó tomando el dato real de la demanda en cada periodo como media y un fragmento de está asumiendo niveles de desviación.

La simulación en mención permitió crear 9 *instancias* (Véase Anexos No 12-20) con diferencias en cuanto a la cantidad de departamentos (4, 5 y 6) y en los niveles de variación de la demanda (del 10%, 20% y 30%), las cuales se denominarán “4-10”, “4-20”, “4-30” etc., donde el primer número hace referencia al tamaño de la empresa (cantidad de departamentos) y donde el segundo se refiere al nivel de variación de la demanda. Una de las diferencias con la *instancia* base es el número de periodos que se eligieron para el transcurso del día que fueron 15, dado que se eligen distintas horas de operación de la empresa y una longitud de una hora para cada periodo. En la Figura No.4 se presenta la demanda para un tamaño de tienda de 6 departamentos con un coeficiente de variación del 10%.

D	P														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Departamento 1</i>															
1	2	4	4	6	5	6	6	7	6	6	6	9	8	8	4
2	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	4
3	4	4	4	6	6	6	6	5	6	8	6	7	8	8	4
4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	7	7	5
5	2	4	6	7	6	6	6	6	6	6	8	8	7	8	4
6	4	4	6	6	8	7	8	8	8	9	10	10	8	8	4
7	2	4	4	6	11	12	10	8	12	15	12	11	8	8	2
<i>Departamento 2</i>															
1	2	4	4	6	6	7	6	6	6	6	6	8	8	8	4
2	4	4	6	6	7	7	6	6	6	6	8	8	8	7	4
3	4	4	4	6	6	6	6	6	6	8	6	6	8	8	4
4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	9	8	4
5	2	5	6	6	6	6	6	6	6	6	9	7	8	7	4
6	4	4	6	6	8	8	8	8	8	10	10	11	8	9	4
7	2	4	4	5	10	13	11	8	12	14	11	14	8	8	2
<i>Departamento 3</i>															
1	2	4	4	6	6	6	6	5	6	6	6	8	8	8	4
2	4	4	7	6	6	6	6	6	6	6	8	8	7	8	4
3	4	4	4	6	6	6	6	6	5	7	6	6	9	8	4
4	4	4	6	6	5	6	6	6	6	6	8	8	8	9	4
5	2	4	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	3
6	4	3	6	6	9	8	9	8	8	9	11	10	9	8	4
7	2	4	4	6	10	13	9	8	12	14	13	12	8	7	2
<i>Departamento 4</i>															
1	2	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	4
2	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	9	8	4
3	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	8	6	6	8	4
4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	9	4
5	2	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	4
6	4	4	6	7	9	7	8	9	8	10	9	10	9	8	4
7	2	4	4	6	10	12	10	8	12	15	12	13	8	8	2
<i>Departamento 5</i>															
1	2	4	4	6	5	6	6	6	6	7	6	8	7	8	4
2	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	4
3	4	4	4	6	6	7	6	6	6	8	6	6	8	7	4
4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	8	7	8	8	4
5	2	4	6	6	6	7	6	6	6	5	9	8	8	8	4
6	4	4	6	6	8	9	8	9	8	10	10	10	7	8	4
7	2	4	4	6	10	12	11	8	12	14	12	11	8	7	2
<i>Departamento 6</i>															
1	2	3	4	6	5	6	6	6	6	6	6	8	8	8	4
2	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	4
3	4	4	4	6	6	6	5	6	6	7	6	6	8	8	4
4	4	4	6	5	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	4
5	2	4	6	6	6	6	6	5	6	6	8	8	8	9	4
6	5	4	6	6	8	8	8	8	8	10	10	10	8	8	4
7	2	4	4	6	11	13	9	8	12	14	11	12	8	8	2

Fig. 4. Demanda para empresa con tamaño de 6 departamentos y coeficiente de variación 10%

Otros costos relevantes para el proyecto son los de sobredotación y subdotación. Esto principalmente porque el costo por subdotación es equivalente al costo que se genera por ventas perdidas, ocasionado por falta de personal asignado, mientras que el costo por sobredotación representa un costo de oportunidad en el que incurre la empresa al pagar por personal ocioso que podría estar asignado para desempeñar funciones o tareas productivas. En consecuencia, se pretende tener un equilibrio en los diferentes departamentos en cuanto a estos conceptos, ya que, si se tiene una cantidad de operarios que sobrepase la demanda esto genera costos por personal ocioso. Por otro lado, si no se alcanza a cubrir de manera adecuada la demanda de cada departamento, esto genera costos por ausencia de personal requerido, lo que hace referencia a la subdotación.

En cuanto al costo de capacitación, se asume un costo mínimo tomando como referencia estudios de Henao [20], [22] que ha demostrado que esto permite interpretar los resultados como la contribución potencial de la polifuncionalidad al desempeño de la empresa que es precisamente lo que se busca, incrementar la eficiencia mediante la implementación de la polifuncionalidad. Adicionalmente, los costos por contratación serán de interés para el modelo, debido a que son costos fijos en los que se incurre directamente al contar con personal. Además, se deben considerar los costos de hora extra, porque representan un incremento porcentual sobre el salario base y debe de cobrarse en caso de que el modelo decida incluirlas.

Para definir los costos en mención, se establecieron los siguientes supuestos: (i) no se considera el ausentismo laboral no programado. (ii) No se consideran descansos durante el transcurso del turno. (iii) Al inicio del horizonte de planeación, no hay empleados contratados, por lo que el modelo decide estratégicamente la cantidad de personal requerido y las habilidades, de acuerdo a la demanda (Modelo flexible) (iv) Los empleados polifuncionales no pueden trabajar en más de dos departamentos, dado que entrenar para que realicen más de dos tareas es considerado como poco costo-efectivo [6], [22]; (v) Los costos por sobredotación y subdotación de personal tienen el mismo valor para todos los departamentos (D), en cualquier periodo de tiempo (p) y día de la semana (d). (vi) El costo por contratación de $c=\{1,2,3,4,5\}$ no incluye auxilio de transporte ni prestaciones sociales, exceptuando el ARL que por ley debe garantizarse. (vii) El costo por contratación de $c=\{6,7,8\}$ incluye prestaciones sociales y

auxilios de transporte, puesto que se asumen como contratos a término fijo. (viii) Los contratos $c = \{7,8\}$ son los únicos que pueden laborar horas extra. (ix) El costo de capacitación es el mismo para cada departamento (I). (x) El costo de capacitación del personal es equivalente al precio por hora del salario base de los empleados (COP 4 342). (xi) las horas laborales diarias asignadas a un empleado por tipo de contrato serán uniformes para cada día de la semana.

Por otra parte, se definió un salario base para estimar el costo de contratación para cada uno de los contratos equivalente a COP 998 525, que fue resultado del promedio de una lista de salarios base hallados en plataformas de empleo (Véase Anexo No. 11). Es importante mencionar que los salarios encontrados son contratos fijos con jornada ordinaria de 8 horas. En adición, las prestaciones sociales se calcularon de acuerdo con la Ley 100 de 1993 del Ministerio de Salud y Seguridad Social [23] que se pueden visualizar en la siguiente Figura:

TABLA VI
PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN DEL EMPLEADOR A PRESTACIONES SOCIALES

Contribución de empleador a prestaciones sociales	
Descripción	Porcentaje
Salud	8%
Pensión	12,50%
Caja de compensación	4%
Riesgos laborales (ARL)	4,37%
Interés Cesantías	12%

Para el costo de contratación por hora se consideraron 30 días calendario y 8 horas de jornada ordinaria de los contratos fijos en Colombia. En el caso de las horas extra, su valor constituye un recargo del 25% sobre el valor de la hora ordinaria de trabajo como se estipula en [19] en Colombia.

Con base en los datos recolectados se definió como KPI's el costo total de evaluación del proyecto, este costo total se desglosa en las distintas variables (explicadas en el apartado diseñar) que aportan al costo acumulado que se pretende disminuir y son mostrados en la Tabla VI.

TABLA VII
INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR

Variable	Objetivo	Descripción	Indicador
Costo Subdotación Total	Disminución de las ventas perdidas por falta de personal.	Cuantifica los costos que representan la subdotación de personal semanal.	$CFT = \sum_{I \in LI} \sum_{d \in D} \sum_{p \in CP} CF * PF_{ldp} \quad (1)$
Costo Sobredotación Total	Lograr que la empresa no incurra en costos por personal ocioso.	Cuantifica los costos que representan la sobredotación de personal semanal.	$CET = \sum_{I \in LI} \sum_{d \in D} \sum_{p \in CP} CF * PE_{ldp} \quad (2)$
Costo Salario Total	Uso eficiente del personal de la empresa	Cuantifica los costos totales correspondientes a salarios más prestaciones sociales teniendo en cuenta el tipo de contrato del empleado.	$CST = \sum_{c \in CC} \sum_{w \in CWw} (CSH_c * HDC_c * X_{cw}) \quad (3)$
Costo Capacitación Total	Inversión adecuada para la capacitación de empleados de acuerdo a los requerimientos de personal en los departamentos.	Cuantifica los costos totales asociados al pago de capacitaciones, que dependerá de las habilidades.	$CCapT = Ccap * Poli \quad (4)$
Nivel de servicio Tipo 2	Lograr el mayor cumplimiento de demanda posible.	Realiza una penalización de costo entre menor sea el nivel de servicio alcanzado.	$\sum_{I \in LI} ((1 - NVS_I) * Penalización) \quad (5)$

Por otro lado, para obtener la situación actual de estos indicadores en cada una de las 9 *instancias*, se realizó la asignación del personal bajo los siguientes lineamientos:

Inicialmente, se realiza la identificación de los días con mayor demanda para evitar la asignación de turnos de descanso en dichos días. Se emplearon los contratos C2 y C6 debido a que estos son los que se utilizan mayoritariamente por los *retails* en Colombia. Seguidamente, se establecen prioridades de asignación de personal polifuncional para cada departamento. Cabe resaltar que se asume que no todos los departamentos son aptos para polifuncionalidad como se muestra en la Fig.6 y Fig.7, en donde los departamentos compatibles toman el valor de 1 y los incompatibles 0.

PRIORIDAD INICIAL DE ASIGNACIÓN						
DPTO	1	2	3	4	5	6
1	0	1	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0	0
4	0	0	1	0	0	0
5	0	1	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0

Fig. 6. Prioridad inicial de asignación

PRIORIDAD SECUNDARIA DE ASIGNACIÓN						
DPTO	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	1	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0

Fig. 5. Prioridad secundaria de asignación

Con base en lo anterior, se estableció la distribución inicial del primer departamento (sin incluir polifuncionalidad aún). Esta asignación, se duplica para todos los departamentos y se realizaron ajustes de acuerdo a lo siguiente:

- Reducción de contratos a los departamentos que tienen mayor priorización para recepción de empleados polifuncionales (Departamentos 2 y 4).
- Asignación de turnos de descanso en días con menor demanda o exceso de personal al aplicar distribución inicial. Este se puede observar en la asignación con el color Verde Claro en la franja horaria de dicho turno.
- Se dividen los turnos por equipos con el fin de realizar la distinción de empleados que se pueden enviar a otro departamento para polifuncionalidad. Como ejemplo, los turnos T36-1 y T36-2 hacen referencia al mismo turno, pero ambos tienen asignados un color que distingue el departamento al cual pueden enviar operarios polifuncionales.
 - ❖ Color Verde – Operarios aptos para polifuncionalidad con el departamento 2.
 - ❖ Color Azul – Operarios aptos para polifuncionalidad con el departamento 3.
 - ❖ Color Rojo – Operarios aptos para polifuncionalidad con el departamento 4

Las asignaciones iniciales por *instancias* de cada departamento se encuentran en los Anexos No. 23-31 en la hoja de Excel llamada “Inicial”. Posteriormente, en la hoja “Polifuncionalidad” de los anexos mencionados, se encuentra el movimiento de personal para la realización de actividades en los departamentos que requieren polifuncionalidad. Para cada departamento, se hace el registro del ingreso de operarios y su procedencia (O1=Origen Departamento 1). En la hoja “Final”, se encuentra la consolidación de la asignación inicial con los respectivos movimientos de la hoja polifuncionales.

Finalmente, la consolidación de los KPI’s para cada *instancia* se muestra en la TABLA VII (Véase anexo No.34), por lo que se establece como meta la reducción del costo total en mínimo un 5%, mientras que para el nivel de servicio la meta será alcanzar un 92%.

TABLA VIII
SITUACIÓN ACTUAL DE LOS KPI'S

COSTO / INSTANCIA	4-10	4-20	4-30	5-10	5-20	5-30	6-10	6-20 (1)	6-30
Costo Salario Actual	\$16 932 000	\$17 770 944	\$19 360 464	\$22 846 848	\$22 419 456	\$22 211 040	\$28 026 960	\$29 632 320	\$26 666 976
Costo Capacitación Actual	\$833 664	\$1 146 288	\$625 248	\$1 111 552	\$1 250 496	\$1 563 120	\$903 136	\$1 528 384	\$1 215 760
Costo Sobredotación Actual	\$456 341	\$613 461	\$501 397	\$664 294	\$618 082	\$628 480	\$844 520	\$1 214 214	\$815 638
Costo Subdotación Actual	\$1 550 400	\$1 653 760	\$1 536 306	\$1 423 549	\$1 681 949	\$1 785 309	\$1 710 138	\$2 161 164	\$2 381 979
Costo Horas Extra Actual	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Costo Total	\$19 772 406	\$21 184 454	\$22 023 415	\$26 046 244	\$25 969 984	\$26 187 950	\$31 484 755	\$34 536 083	\$31 080 353

Meta (% reducción)	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Nivel de servicio	87,85%	88,89%	88,13%	91,10%	89,50%	88,84%	91,11%	88,73%	87,52%
Meta (%)	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%

III. ANALIZAR

A. Análisis de oportunidad

La implementación de polifuncionalidad produce dificultad en la asignación de personal, por lo que se deben tener en cuenta los turnos, departamentos, días de asignación, entre otros, esto produce que a medida que las *instancias* sean más grandes se conviertan en problemas difíciles de resolver con optimalidad, por la naturaleza del problema que implica una gran cantidad de variables y restricciones a generar [24]. Por tal motivo, es posible obtener diferentes asignaciones que producen una variación en la función objetivo (Indicador Costo Total).

A modo de ejemplificación, se tomó la *instancia* 6-V20(1) que se encuentra en el Anexo No.19 y se creó la *instancia* 6-V20(2) (Véase Anexo No. 20) que presenta la misma asignación con la diferencia de que a esta última se le efectuó la reducción de un contrato tipo C6 (en el departamento 3) y un incremento de un contrato tipo C6 (en el departamento 4), como se puede evidenciar en la figura No.7.

Dicho cambio generó una variación en los costos de capacitación de empleados polifuncionales, subdotación y sobredotación como se puede observar en la Figura No.8.

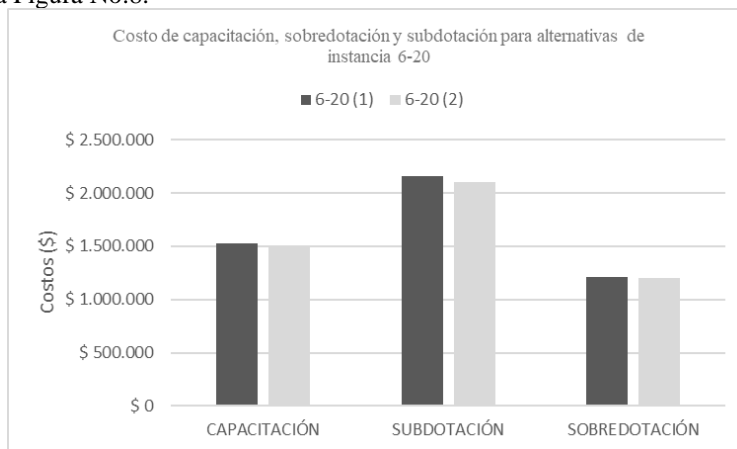


Fig. 7. Costos semanales de alternativas de instancia 6-20

Asimismo, dicha reducción en los contratos generó a su vez, una reducción en el costo total como se puede observar en la TABLA VIII, además a representar un incremento en el nivel de servicio.

TABLA IX
VALOR DE KPI'S PARA ALTERNATIVAS DE INSTANCIA 6-20

INSTANCIA	CANTIDAD DE CONTRATOS		COSTO SALARIO	COSTO CAPACITACIÓN	COSTO SUBDOTACIÓN	COSTO SOBREDOTACIÓN	NIVEL DE SERVICIO	COSTO TOTAL
	C2	C6						
6-20 (1)	22	86	\$ 29 632 320	\$ 1 528 384	\$ 2 161 164	\$ 1 214 215	88,73%	\$ 34 536 083
6-20 (2)	22	86	\$ 29 632 320	\$ 1 493 648	\$ 2 100 088	\$ 1 199 196	89,04%	\$ 34 425 252
VARIACIÓN			0,00%	2,27%	2,83%	1,24%	0,31%	0,32%

Los resultados obtenidos permiten ilustrar que un cambio mínimo en la asignación afecta el resultado de los indicadores. En este caso, la contratación de un turno en un departamento diferente respecto al caso inicial 6-20(1), produjo una reducción del 2,27%, 2,83% y 1,24% en los costos de capacitación, sobredotación y subdotación respectivamente. En cuanto al costo total, se genera una reducción del 0,32%. Es importante mencionar que dicha reducción generó a su vez un aumento en la demanda

satisfecha, por lo que se demuestra que un cambio ligero en la asignación produce una variación significativa en los costos incurridos por la empresa y el nivel de servicio, por lo que resulta muy valioso llevar a cabo este estudio.

Revisión de literatura

Considerando el problema de asignación de personal para turnos de trabajo y departamentos diferentes, es necesario encontrar un método que permita aprovechar los beneficios de la polifuncionalidad para abarcar el problema de subdotación y sobredotación de personal. Lo anterior, con el objetivo de reducir los costos asociados al personal y evitar posibles deterioros en el nivel de servicio [22]. En la TABLA IX se muestran algunos casos de asignación de personal empleando opciones diferentes para solucionar este problema. Entre estos métodos se identificó la programación entera lineal flexible, heurísticas como: *fixed- before-shared* que busca priorizar la asignación de cada trabajador a su estación base siempre que dicho apoyo sea requerido, *zoned craft priority* en donde los trabajadores reciben capacitación cruzada para atender estaciones consecutivas luego de la propia, *maxqueue* que va asignando a los trabajadores en las estaciones que tengan una mayor cola, *maxqueue- gap* en donde los trabajadores son dirigidos a la estación con la mayor brecha entre su longitud de cola y la de la siguiente estación, *uniform buffer* que realiza la asignación buscando equilibrar la longitud de las colas en cada estación y *time buffer* cuyo objetivo es el mismo, pero enfocándose en alcanzar el menor tiempo promedio de procesamiento en las estaciones [11]; también se encontraron metaheurísticas como la búsqueda tabú, que busca la solución de forma iterativa y ramificada, descartando opciones a medida que encuentra la mejor solución y otras alternativas como modelos de programación lineal no flexible o algoritmos como el de *backtracking*, que despliega las posibles combinaciones a manera de árbol y va descartando de forma consecutiva. Métodos como los anteriores fueron estudiados con el fin de determinar el más apropiado para llevar a cabo el proyecto.

TABLA X
REVISIÓN DE LITERATURA

Nombre del artículo	Autores y año	Problema (objetivo)	Método	Resultados (comentario del método)	Aporte del proyecto
Hybrid flexibility strategy on personnel scheduling: Retail case study.	Porto, Andrés Felipe Henao, César Augusto López-Ospina, Héctor González, Esneyder Rafael. Año 2019. [6]	Consiste en crear una planeación del personal de trabajo con multifuncionalidad y contratos flexibles. El objetivo es alcanzar la operación costo-efectiva de una tienda <i>retail</i> (ubicada en Chile), minimizando los niveles de subdotación y sobredotación de personal. Como una posible solución, esta investigación propone un modelo flexible con labores híbridas que haga uso de la combinación de contratos flexibles (contratos a medio tiempo con turnos de diferente duración) y empleados polifuncionales.	Se realiza un modelo de <i>programación lineal</i> entera mixta con flexibilidad de asignación (MILP). Este modelo se implementó en AMPL y se compiló usando CPLEX 12.1 como solucionador del modelo de programación entera mixta.	Debido a que el modelo requería la asignación y/o contratación de personal desde cero, el método aplicado logra alcanzar el costo mínimo factible, de igual manera la metodología podría modificarse de manera que se proponga un acercamiento con un método metaheurístico para solucionar problemas en tiempos razonables.	Con la implementación del método se logró un ahorro del 71% en costos al implementar contratos flexibles. Si se implementa la polifuncionalidad se ahorran el 5% (por el tipo de demanda). Pero al hacer un enfoque híbrido, es decir, polifuncionalidad y contratos flexibles, se logra un ahorro del 77%. Además, la estrategia híbrida generó niveles mínimos de sub-personal y, por lo tanto, niveles máximos de cobertura de la demanda.
Beneficios de la polifuncionalidad laboral en la industria retail: enfoque “k-encadenamiento” con incertidumbre en la demanda	Morales, Yessica A. Año 2021. [25]	Busca resolver un problema de planificación de personal a nivel estratégico diseñando un plan de capacitación idóneo para una fuerza laboral conocida, que permita tomar en simultáneo decisiones como: cuántos empleados deben ser especialistas y cuántos deben ser polifuncionales, en cuántos y cuáles departamentos debe ser entrenado cada empleado polifuncional, cuál configuración de polifuncionalidad debe ser adoptada, y cómo será la	El problema se resuelve utilizando la estrategia k-chaining con $k \geq 2$, manejando una demanda estocástica en dos escenarios diferentes, el primero con fuerza laboral homogénea y el segundo escenario con fuerza laboral heterogénea.	Tras el análisis de los resultados, se concluyó que modelar una mano de obra como homogénea subestima los niveles de polifuncionalidad requeridos para minimizar los costos de subdotación de personal. Esto quiere decir que al incorporar el fenómeno de aprendizaje y olvido se requieren mayores niveles de polifuncionalidad para compensar la pérdida de productividad de los empleados y dicha solución	Dos grandes aportes del proyecto son: Incorporar empleados polifuncionales en la plantilla de una industria retail permite lograr un ahorro aproximado entre el 40 y el 50% de los costos laborales totales. El enfoque de polifuncionalidad ofrece la máxima protección contra la incertidumbre en la demanda, se tiene que bajo una política k-chaining con $k \geq 2$ se logran el 100% de los ahorros en los costos de sobre/subdotación

		asignación de horas de trabajo semanales de cada empleado en los departamentos donde recibió capacitación.		puede considerarse como más ajustada a la realidad. Este método considera en los modelos matemáticos que los empleados siguen un comportamiento heterogéneo en sus productividades laborales, las soluciones obtenidas son más realistas. Esto evita subestimar los niveles de polifuncionalidad requeridos y los costos de subdotación de personal.	similares al obtenido bajo una política de polifuncionalidad total, pero con una inversión en polifuncionalidad mucho menor.
Problema de asignación óptima de salones resuelto con Búsqueda Tabú	Franco, J., Toro, E., & Gallego, R Año 2008 [26].	Pretender dar solución a los problemas de asignación de salones en un periodo de tiempo determinado evitando choques de horarios, incapacidad de salas, infra y sobrevaloración de carga de trabajo.	Para la solución del objetivo del problema, el autor hace uso de algoritmos metaheurísticos como la búsqueda tabú, esta es una técnica de optimización combinatoria que usa conceptos de memoria adaptativa y exploración sensible.	El método no es del todo efectivo, pues durante el desarrollo del documento mencionan que trataron de evadir restricciones “duras” para que el número de iteraciones no sea muy alto y así poder obtener un resultado con dicho método. Por lo que este método de cierto modo puede llegar a ser limitante para diferentes casos.	El método demostró realizar la programación de los eventos teniendo como prioridad evitar, restricciones duras y aplicar movimientos adecuados que las reduzcan, todo esto con un costo computacional ínfimo. Así, el número de iteraciones necesarias en la etapa de Búsqueda Tabú para restricciones duras es bastante pequeño comparado con estrategias que no siguen la prioridad mencionada.
<i>Programación lineal</i> para la asignación de personal a horarios de trabajo: El caso de una empresa de atención telefónica en México.	O. Villagómez, R Año 2012 [27].	Consiste en elaborar un modelo de programación que permita asignar 181 operadores con 67 horarios diferentes de trabajo en un centro de atención telefónica.	Se realiza un modelo de programación lineal no flexible, es decir, se cuenta previamente con la cantidad de operarios a asignar para los diferentes horarios de trabajo en el centro de atención telefónica.	Recomiendan revisar el modelo de <i>programación lineal</i> y así mismo implementar otra alternativa de solución al problema.	Mediante el desarrollo del modelo de programación se llegó a la conclusión de que se está desaprovechando la cuarta parte del total del personal, recomiendan hacer un cambio de estrategia como podría ser el uso de una metaheurística.
Modelos de Programación Matemática para asignación de pabellones quirúrgicos en hospitales públicos	P. Wolff Año 2011 [15].	El objetivo principal del proyecto es desarrollar modelos de optimización que permitan la programación de intervenciones quirúrgicas electivas en pabellones durante intervalos de tiempo específicos, con el fin de reducir costos y reducir tiempos de espera.	Se hace uso de modelo de programación entera y algoritmo de backtracking, es una estrategia para encontrar soluciones a problemas con un gran número de restricciones, además, este método ayuda a evitar combinaciones no factibles, es decir, si en la búsqueda del método este encuentra una solución no óptima la búsqueda retrocede hasta el nodo anterior. Este algoritmo fue programado en Java utilizando la herramienta NetBeans 6.9.1.	El algoritmo de backtracking presentó problemas en algunas de las pruebas realizadas debido al alto consumo de memoria RAM. El algoritmo puede encontrar el óptimo si la cantidad de jornadas promedio en las que cada paciente puede ser intervenido y duración de estas, limitan el número de combinaciones factibles totales. Así mismo, el algoritmo depende del número de jornadas para las cuales se puede operar debido a que el resultado entre los diferentes escenarios es desigual.	Se realizaron dos escenarios con diferentes números de pacientes y diferente cantidad de jornadas en las que los pacientes pueden ser intervenidos, los resultados afirman que el algoritmo del tipo backtracking puede finalizar sólo si la cantidad de jornadas promedio en las que cada paciente puede ser intervenido y la duración de éstas, limitan el número de combinaciones factibles totales. Por lo que, depende del número de jornadas, para ambos grupos se manejan menos de 10 jornadas, así mismo, se observa que el resultado es independiente del número de pacientes que

					los tiempos de ejecución no superan los 2 segundos para los casos donde se obtiene resultados.
--	--	--	--	--	--

Partiendo de los estudios anteriores, fue posible analizar los casos de éxito en los que se ha tratado el problema de programación de personal. Pese a las diferencias encontradas entre ellos, se evidenció en algunos casos el uso de la polifuncionalidad como factor determinante a la hora de optimizar los recursos a asignar. Sin embargo, se identificó el uso de supuestos, que, a pesar de facilitar la solución del problema, la alejaban un poco de la realidad.

Por esta razón, para el desarrollo de este proyecto, se plantea considerar diferentes factores como el uso de una metodología multi objetivo que permita reducir los costos asociados a la sub y sobredotación del personal contratado, mientras se incrementa el nivel de servicio. Adicionalmente, teniendo en cuenta la necesidad de generar un pronóstico de demanda a seguir, se propone considerar diferentes porcentajes de variación en la demanda y tamaños de retail (cantidad de departamentos) como se aplica en [5] implementando C++. Asimismo, se propone hacer una adaptación de las jornadas, turnos laborales y tipos de contratos que rigen en Colombia. Es importante mencionar, que la complejidad aumentará en la medida que este sea lo más realista posible. Por lo que, se van a evaluar diferentes variaciones como lo son la inclusión de periodos de descanso durante el turno de trabajo, con el fin de tener en cuenta la franja de almuerzos de los trabajadores. También se consideró incluir la existencia de departamentos incompatibles (trabajo especializado en un departamento que no permite polifuncionalidad) pues afectan a los resultados en comparación a que todos los departamentos permitan polifuncionalidad.

B. Exploración de ideas y análisis de alternativas

Para la postulación de diferentes alternativas que se ajusten a los objetivos del problema se realizó una lluvia de ideas, con el fin de escoger la opción más acertada. Para ello, se tuvo en cuenta los criterios de evaluación de alternativas, mediante la metodología de Análisis de Jerarquía Analítica (AHP) (Véase Anexo No. 33). Basado en la revisión de literatura mostrada en la sección anterior, se decide implementar una lluvia de ideas con el fin de definir los criterios para la metodología AHP, para así elegir la alternativa más acorde con los objetivos de la investigación, como se muestra a continuación:

- Capacidad de abarcar y evaluar varias combinaciones que estén cerca de la solución óptima o que lo sean.
- Capacidad de adaptarse a diferentes condiciones de evaluación.
- Usar una solución ya existente, como lo podría ser una heurística o un algoritmo.
- Diseñar una solución que genere un resultado con los recursos existentes.
- Sea de fácil uso en cuanto a comprensión e implementación de software.
- Tiempo de desarrollo de una solución sea corto.
- Adaptabilidad a diferentes contextos de aplicación.

TABLA XI
ANÁLISIS DE IDEAS

Ideas	Análisis
Capacidad de abarcar y evaluar varias combinaciones que estén cerca de la solución óptima o que lo sean.	La importancia de este factor radica en la cantidad de combinaciones existentes que le dan una gran dificultad al problema para llegar a una solución factible, por ende, entre más capacidad de evaluar alternativas tenga el método escogido se tendrá una mejor solución.
Capacidad de adaptarse a diferentes condiciones de evaluación	La cantidad de restricciones que presentan los modelos de asignación pueden variar de un escenario a otro, por esta razón es importante que el método elegido sea capaz de adaptarse a estos cambios sin afectar la calidad de la solución.
Usar una solución ya existente, como lo podría ser una heurística o un algoritmo.	Se puede partir de métodos ya diseñados para hacer comparaciones entre estos mismos de acuerdo con la solución arrojada, esto con el fin de generar mejoras en el método escogido.
Diseñar una solución que genere un resultado con los recursos existentes.	Puede considerarse un método que genere una solución de asignación con el personal existente, teniendo en cuenta eso la solución solo sería dirigida a la asignación de personal sin contemplar nuevas contrataciones o despidos.
Sea de fácil uso en cuanto a comprensión e implementación de software.	Se debe tener en cuenta el tipo de software que se debe adquirir para la implementación del método, ya que puede ser un software costoso, difícil de manejar o difícil de comprender las soluciones arrojadas por el método.
Tiempo de desarrollo de una solución sea corto.	Debido a que uno de los objetivos del problema es generar asignaciones en los diferentes periodos del día, es importante que se generen soluciones en un tiempo corto
Adaptabilidad a diferentes contextos de aplicación.	El problema de asignación es bastante común en la industria, por ende, se tiene como objetivo en el proyecto diseñar un método que se adapte de manera adecuada a la problemática tratada, pero

que también sea flexible al momento de generar cambios en el diseño y así ajustarlo a contextos de otras industrias.
--

Partiendo de las ideas expuestas y analizadas en la TABLA X y la revisión de literatura se definen 5 posibles alternativas para la solución de la problemática investigada. Las alternativas escogidas están relacionadas directamente con algunas de las ideas propuestas mientras divergen de otras, por esta razón se implementa una metodología para escoger la solución más acertada; las posibles alternativas son:

- Modelo de Programación Lineal Entera Mixta con Flexibilidad de contratación y asignación [6].
- Heurísticas estáticas basadas en longitud de cola (puede tomarse como faltantes) [11].
- Metaheurísticas basadas en algoritmos de búsqueda tabú entre otros complementos [26].
- Modelo de Programación Lineal Entera Mixta sin Flexibilidad en la contratación [27].
- Algoritmo de backtracking [14].

Debido a la necesidad de elegir una alternativa adecuada se recurre al método de Análisis de Jerarquía Analítica (AHP). Para la implementación de esta metodología es necesario definir los criterios bajo los cuales serán comparadas las diferentes alternativas. A continuación, se muestran los criterios a tener en cuenta.

- **Velocidad de asignación:** rapidez con la que el modelo diseñado da una solución (asignación).
- **Robustez:** capacidad del modelo de abarcar muchas variantes.
- **Facilidad de uso:** cómodo al momento de implementar el método luego de ser diseñado.
- **Dificultad de diseño:** complejidad de creación del diseño debido a la dificultad del problema.
- **Adaptabilidad:** capacidad de aplicar el modelo en otros contextos o industrias.

Con ayuda del método visual se clasificaron los diferentes criterios y el nivel de importancia de cada uno de ellos respecto a los demás criterios, para posteriormente llevarlos a la matriz AHP (Véase Anexo No. 33) y así obtener el nivel de prioridad de cada uno en la evaluación de alternativas. En la TABLA XI se muestra el resultado obtenido del método visual, es importante tener en cuenta estos resultados en la matriz AHP ya que de estos depende la consistencia de la evaluación.

TABLA XII
MÉTODO VISUAL

Criterios						
1/4	1/3	1/2	1	2	3	4
Adaptabilidad	Robustez		Velocidad de asignación		Facilidad de uso	Dificultad de diseño

Los resultados de importancia y peso de los diferentes criterios basado en los datos del método visual permiten evidenciar que los criterios con mayor importancia en la elección de alternativas son Adaptabilidad y Robustez del método (véase Anexo No. 33 y TABLA XII).

TABLA XIII
PORCENTAJE DE IMPORTANCIA DE LOS CRITERIOS

Velocidad de asignación	Robustez	Facilidad de uso	Dificultad de diseño	Adaptabilidad
14%	30%	7%	5%	45%

Luego del de seguir paso a paso la metodología comparando cada alternativa respecto a cada criterio se puede observar en la TABLA XIII que el método que más se ajusta a los objetivos del diseño es el Modelo de Programación Lineal Entera Mixta con Flexibilidad con un 40% de puntuación al final del análisis respectivo.

TABLA XIV
RESULTADO FINAL DE ALTERNATIVAS

ALTERNATIVA	PORCENTAJE FINAL
Heurística	8%
Metaheurística	14%
Modelo PL Flexible	40%
Modelo PL no Flexible	31%
Algoritmo	6%

C. *Objetivos*

(1) *Objetivo general:*

Diseñar un modelo de Programación Lineal Entera Mixta para la asignación y capacitación de personal, de acuerdo a las necesidades de la polifuncionalidad, considerando flexibilidad en la contratación con el fin de reducir los costos asociados a la fuerza laboral, teniendo en cuenta su adaptabilidad a las condiciones del comercio minorista en Colombia.

(2) *Objetivos específicos:*

- Caracterizar el problema de acuerdo con la normativa colombiana y a los supuestos tenidos en cuenta durante el desarrollo del proyecto.
- Evaluar la situación actual de las *instancias* generadas, con el fin de verificar las oportunidades de mejora en el problema investigado.
- Desarrollar un modelo de *Programación lineal* que permita una asignación adecuada de personal polifuncional con el fin de reducir costos de sobredotación y subdotación de personal.
- Verificar si el modelo planteado logra producir una mejora en los indicadores establecidos respecto a la situación actual, haciendo uso de las *instancias* generadas, esto con el fin de conocer la viabilidad de los resultados alcanzados.

D. *Plan de Trabajo (PdT)*

En este apartado se estableció el plan de trabajo a seguir para el desarrollo del proyecto. En la TABLA XIV se presenta el resumen del plan de trabajo que contiene los objetivos específicos con sus respectivas actividades, el área de ingeniería que se usa, los hitos y entregables.

TABLA XV
PLAN DE TRABAJO

OBJETIVO GENERAL						
Diseñar un modelo de Programación Lineal Entera Mixta con flexibilidad en la contratación y asignación de personal polifuncional, con el fin de reducir los costos asociados a la fuerza laboral, considerando su adaptabilidad a las condiciones del comercio minorista en Colombia.						
Objetivo específico	Actividades	Área IISE	Herramienta	#	Entregable	Fecha
Caracterizar el problema de acuerdo al contexto colombiano y a los supuestos tenidos en cuenta durante el desarrollo del proyecto.	-Delimitar aplicabilidad.	-NA	-NA	-NA	-Etapa Definir	25/02/2021
	-Establecer restricciones y requerimientos del problema.	-NA	-NA	-NA	-Etapa Definir	11/03/2021
	-Revisión de programa por parte de director.	-NA	-NA	-NA	-NA	26/03/2021
	-Correcciones.	-NA	-NA	-NA	-Etapa Medir.	08/04/2021
Evaluar la situación actual de las <i>instancias</i> generadas, con el fin de verificar las oportunidades de mejora en el problema investigado.	-Definir función objetivo, parámetros y conjuntos.	-2	-Linear programming.	-B	- Documento con F.O, conjuntos y parámetros.	16/04/2021
	-Determinación del número de fuerza laboral que debe ser polifuncional en el estado actual.	-2	-Linear programming.	-B	-NA	22/04/2021
Desarrollar un modelo de <i>Programación lineal</i> que permita una asignación adecuada de personal mostrando las necesidades de personal polifuncional con el fin de reducir costos de sobredotación y subdotación de personal.	-Creación de caso de prueba base.	-NA	-NA	-NA	-NA.	29/04/2021
	-Obtener demandas de personal.	-2	-Linear programming.	-B	- <i>Instancias</i> txt.	30/04/2021
	-Creación de <i>instancias</i> .	-NA	-Linear programming.	-B	- <i>Instancias</i> txt	30/04/2021
	- Obtención de costos situación actual.	-2	-NA	-NA	-Etapa medir, KPI'S	21/05/2021
	-Establecer método de asignación.	-NA	-NA	-NA	-Etapa medir.	21/05/2021
-Correcciones.				-NA	-NA	3/06/2021

<p>Verificar si el modelo planteado logra producir una mejora en los indicadores establecidos respecto a la situación actual, haciendo uso de las <i>instancias</i> generadas, esto con el fin de conocer la viabilidad de los resultados alcanzados.</p>	<p>-Validar el modelo usando <i>instancias</i> de prueba generadas. -Comparar con el método actual. -Ilustrar una asignación obtenida. -Cierre.</p>	<p>-2 -NA -NA</p>	<p>-Linear programming. -NA -NA</p>	<p>-B -NA -NA</p>	<p>-Resultados de las <i>instancias</i> en txt. - Gráfica de comparación. -PD2</p>	<p>25 /10/2021 27 /10/2021 1/12/2021</p>
---	---	---------------------------	---	---------------------------	---	---

IV. DISEÑAR

A. Desarrollo del diseño de la solución

Para el desarrollo de la solución se determinó como alternativa la formulación de un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta que busca generar un balance en la contratación de manera tal que se reduzcan los costos totales (sobredotación, subdotación, contratación, capacitación y penalización por nivel de servicio). La formulación se realizó teniendo en cuenta el propuesto en Porto, et al en [6] para la asignación de personal polifuncional y generando algunos cambios como la inclusión de días de descanso, nivel de servicio, entre otros.

Por lo anterior, se consideraron algunos supuestos: (i) Demanda constante para cada departamento (ii) Inicio del horizonte de planeación sin personal previamente contratado, por lo que el modelo indicará la cantidad de empleados a contratar, el tipo de habilidad requerida, el tipo de contrato, el turno de trabajo y los días laborales para cada uno; (iii) Posibilidad de rotación de personal polifuncional entre departamentos en un mismo turno. (iv) Se puede laborar en cualquier día de la semana sin que esto implique un recargo sobre el salario. A continuación, se presenta el modelo matemático, el cual considera los conjuntos y parámetros previamente mencionados.

Conjuntos

D	Días de la semana
C	Tipos de contrato
P	Periodo de tiempo de división de operación de la empres
T	Turnos por día
Ll	Departamento de la empresa
Wg	Conjunto de habilidades totales
N	Secuencias de días a trabajar. arreglo de siete valores binarios que indica los días de trabajo (1) y descanso (0).

Subconjuntos

T_c	Subconjunto de turnos asociados al tipo de contrato $c \in C$
L_{wg}	Subconjunto de departamentos que se incluyen en el conjunto de habilidades. $w \in Wg$
W_l	Conjuntos de habilidades que permiten a un empleado trabajar en el departamento $l \in Ll$
W_i	Subconjunto que abarca aquellas habilidades que tienen departamentos incompatibles entre sí. $W_i \in Wg$
Ww	Subconjunto que contiene la diferencia entre Wg y W_i . $Ww \in Wg$
N_c	Subconjunto secuencias de días a trabajar asociados al tipo de contrato $c \in C$
Wm	Conjunto de habilidades múltiples

Parámetros

HIP_p	Hora de inicio del periodo $p \in P$ [h]
HFP_p	Hora de finalización del periodo $p \in P$
HIT_t	Hora de inicio del turno $t \in T$
HFT_t	Hora de finalización del turno $t \in T$
HSC_c	Horas laborales semanales por tipo de contrato $c \in C$
HDC_c	Horas laborales diarias por tipo de contrato $c \in C$
LT_t	Duración en horas del turno $t \in T$
CF	Costo de subdotación de personal en periodo $p \in P$
CE	Costo de sobredotación de personal en periodo $p \in P$
CSH_c	Costo del salario por hora por tipo de contrato $c \in C$
Dem_{apl}	Demanda de personal en día D y periodo P del departamento l . $d \in D, p \in P, l \in Ll$
Penalización	Costo de penalización para nivel de servicio
Min_{NS}	Nivel de servicio mínimo a alcanzar
BD_{nd}	Bloquea o no el día de descanso d para la secuencia de días n (matriz binaria) $n \in N, d \in D$

Variables de decisión

X_{cw}	Cantidad de personal asignado con contrato tipo $c \in C$ y conjunto de habilidades $w \in Ww$ que indica los departamentos en donde pueden trabajar.
PF_{ldp}	Cantidad de personal faltante en departamento $l \in Ll$, en día $d \in D$ y periodo $p \in P$.
PE_{ldp}	Cantidad de personal en exceso en departamento $l \in Ll$, en día $d \in D$ y periodo $p \in P$.
R_{cwdtn}	Cantidad de personal en turno (disponible) con contrato tipo $c \in C$, entrenados con habilidad compatible $w \in Ww$, asignados en día $d \in D$ con turno $c \cup T_c$ y secuencia $c \cup N_c$.
PO_{wldp}	Cantidad de personal en turno (disponible) entrenado en habilidad compatible $w \in Ww$, y asignados para trabajar en departamento $l \in Ll$, en día $d \in D$ y periodo $p \in P$.
O_{ldp}	Cantidad total de empleados que pueden trabajar en departamento $l \in Ll$, en día $d \in D$ y periodo $p \in P$.
SEC_{cwn}	Binaria que toma el valor de 1 si se escoge la secuencia $c \cup N_c$ para el contrato $c \in C$ y conjunto de habilidades compatible $w \in Ww$; 0 d.l.c.
NVS_l	Nivel de servicio del departamento $l \in Ll$.
$Poli$	Cantidad de personal polifuncional asignado.

Función Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } Z = & \sum_{l \in Ll} \sum_{d \in D} \sum_{p \in P} (CF * PF_{ldp}) + \sum_{c \in C} \sum_{w \in Ww} (CSh_c * HDC_c * X_{cw}) + \sum_{l \in Ll} ((1 - NVS_l) * \text{Penalización}) \\ & + Ccap * Poli \end{aligned} \quad (6)$$

Sujeto a:

$$O_{ldp} + PF_{ldp} - PE_{ldp} = Dem_{dpl}, \quad \forall d \in D, p \in P, l \in Ll \quad (7)$$

$$\sum_{w \in Wl} PO_{wldp} = O_{ldp} \quad \forall d \in D, p \in P, l \in Ll \quad (8)$$

$$\sum_{l \in Ll} PO_{wldp} = \sum_{c \in C} \sum_{t \in T_c: HIT_t \leq HFP_p \cap HFT_t \geq HFP_p} \sum_{n \in N_c} R_{cwdtn} * ALM_{tp} \quad \forall d \in D, p \in P, w \in W \quad (9)$$

$$\sum_{n \in N_c} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T_c} LTt * R_{cwdtn} = HSC_c * X_{cw} \quad \forall c \in C, w \in W \quad (10)$$

$$\sum_{t \in T_c} \sum_{n \in N_c} R_{cwdtn} \leq X_{cw} \quad \forall c \in C, w \in Ww, d \in D \quad (11)$$

$$\sum_{t \in T_c} R_{cwdtn} \leq BD_{nd} * 1000 * SEC_{cwn} \quad \forall c \in C, w \in Ww, d \in D, n \in N_c \quad (12)$$

$$\sum_{n \in N_c} SEC_{cwn} = 1 \quad (13)$$

$$\frac{\sum_{d \in D} \sum_{p \in P} (Dem_{dpl} - PF_{ldp})}{\sum_{d \in D} \sum_{p \in P} Dem_{dpl}} = NVS_1 \quad (14)$$

$$NVS_1 \geq Min_{NS} \quad \forall l \in Ll \quad (15)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{w \in W} X_{cw} = Poli \quad (16)$$

$$X_{cw} \geq 0 \quad \forall c \in C, w \in W \quad (17)$$

$$PF_{ldp} \geq 0 \quad \forall l \in Ll, d \in D, p \in P \quad (18)$$

$$PE_{ldp} \geq 0 \quad \forall l \in Ll, d \in D, p \in P \quad (19)$$

$$R_{cwdtn} \geq 0 \quad \forall c \in C, w \in W, d \in D, c \cup T_c, c \cup N_c \quad (20)$$

$$PO_{wldp} \geq 0 \quad \forall w \in W, l \in Ll, d \in D, p \in P \quad (21)$$

$$O_{ldp} \geq 0 \quad \forall l \in Ll, d \in D, p \in P \quad (22)$$

$$SEC_{cwn} \geq 0 \quad \forall c \in C, w \in W, c \cup N_c \quad (23)$$

$$NVS_l \geq 0 \quad \forall l \in Ll, w \in W, c \cup N_c \quad (24)$$

$$Poli \geq 0 \quad (25)$$

La función objetivo (6) busca la minimización de los siguientes 4 componentes en los que se encuentra dividida: costos de sub y sobredotación de personal, salarios laborales, costos de capacitación y el costo asociado al nivel de servicio. Cabe resaltar, que para maximizar este último fue necesario realizar una penalización, donde el costo disminuye en la medida que el nivel servicio aumenta.

La restricción (7) consiste en un balance entre el personal disponible y la demanda, teniendo en cuenta la posibilidad de que se presente sobre y subdotación de personal. La restricción (8) garantiza consistencia entre el número de empleados que cuentan con habilidad Ww que tiene relación con determinado departamento L y el total de asignaciones para dicho departamento. La restricción (9) es aquella que garantiza que los empleados con habilidad Ww sean asignados para trabajar en el departamento L respetando que los turnos de trabajo por tipo de contrato se encuentren dentro de los periodos en los que se requiere personal y teniendo en cuenta los días de descanso del operario.

La restricción (10) asegura que el empleado trabaje el número de horas diarias y semanales correspondientes según el tipo de contrato. La restricción (11) permite asignar el día de descanso a la cantidad de empleados por tipo de contrato y habilidad W , llevando un menor o igual debido a que el día de descanso la variable R debe ser 0 mientras que la variable X conserva su valor. Las restricciones (12) y (13) buscan que el modelo respete los días de descanso asignados a cada trabajador, evitando que se asignen secuencias diferentes por día para un mismo tipo de contrato C y habilidad Ww . Las restricciones (14) y (15) establecen un nivel de servicio mínimo que se debe cumplir en cada departamento Ll , es importante resaltar, que se calculó un nivel de servicio tipo II (Proporción de demanda de personal que se satisface desde el disponible). La restricción (16) cuantifica de los trabajadores polifuncionales. Finalmente, las restricciones (17-25) garantizan la no negatividad de las variables.

En la Tabla XV, se enlistan los archivos de entrada para la ejecución del modelo en AMPL para cada una de las instancias mencionadas en los anteriores apartados, que se encuentran a su vez en el anexo No.36.

TABLA XVI
ARCHIVOS Y DESCRIPCIONES

No.	Archivo	Descripción
1	Data(41).dat	Archivo en formato .dat con los parámetros y los subconjuntos para tamaño de empresa de 4 departamentos y variación 10%.
2	Data(42).dat	Archivo en formato .dat con los parámetros y los subconjuntos para tamaño de empresa de 4 departamentos y variación 20%.
3	Data(43).dat	Archivo en formato .dat con los parámetros y los subconjuntos para tamaño de empresa de 4 departamentos y variación 30%.
4	Data(51).dat	Archivo en formato .dat con los parámetros y los subconjuntos para tamaño de empresa de 5 departamentos y variación 10%.
5	Data(52).dat	Archivo en formato .dat con los parámetros y los subconjuntos para tamaño de empresa de 5 departamentos y variación 20%.
6	Data(53).dat	Archivo en formato .dat con los parámetros y los subconjuntos para tamaño de empresa de 5 departamentos y variación 30%.
7	Data(61).dat	Archivo en formato .dat con los parámetros y los subconjuntos para tamaño de empresa de 6 departamentos y variación 10%.
8	Data(62).dat	Archivo en formato .dat con los parámetros y los subconjuntos para tamaño de empresa de 6 departamentos y variación 20%.

9	Data(63).dat	Archivo en formato .dat con los parámetros y los subconjuntos para tamaño de empresa de 6 departamentos y variación 30%.
10	Mod(4).mod	Archivo en formato .mod con el modelo para un tamaño de empresa de 4 departamentos
11	Mod(5).mod	Archivo en formato .mod con el modelo para un tamaño de empresa de 5 departamentos
12	Mod(6).mod	Archivo en formato .mod con el modelo para un tamaño de empresa de 6 departamentos
13	Ejecutar.run	Archivo en formato .run con comandos para la ejecución del modelo, que debe ser adaptado al nombre de cada una de las instancias.

B. Validación del diseño propuesto

Para llevar a cabo la validación del diseño propuesto, se realizaron pruebas y correcciones al modelo matemático, con el fin de satisfacer los requerimientos de los grupos de interés. Para esto, en esta sección se realizará una explicación detallada sobre los resultados de la asignación para la instancia con tamaño de empresa correspondiente a 4 departamentos y variación del 10%.

Como ejemplo, la tabla VXI muestra la secuencia de días laborales de un trabajador con tipo de contrato 2 (4 horas diarias, 6 días por semana), donde se pueden evidenciar los turnos asignados en el transcurso de la semana que respetan la extensión horaria establecida en el contrato. En este caso, se tomaron los resultados de la variable R, con contrato tipo 2, habilidad 15, secuencia 24, para todos los turnos involucrados y los siete días de la semana, cuyo valor se encuentra definido mediante la restricción (11). Lo anterior, comprueba la efectividad de la restricción (10). De igual forma, la secuencia 24 se encuentra determinada de la siguiente manera: $N_{24} = \{1,1,1,1,0,1,1\}$ y al relacionarla con la Tabla XVI se puede constatar que las restricciones (12) y (13) se cumplen, debido a que este trabajador no labora el viernes.

TABLA XVII
RESULTADO DE R DE INSTANCIA 4-10%

Resultado Variable $R_{2,15,d,t,24}$

*HIT	*HFT	Turno	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
6	10	1			1		Descanso		
10	14	17	1				Descanso		
12	16	25					Descanso		1
13	17	28				1	Descanso		
16	20	35		1			Descanso		
17	21	36					Descanso	1	

*HIT: hora de inicio de turno. *HFT: hora fin de turno.

La tabla XVI, muestra que el trabajador en mención tiene la habilidad 15, caracterizada por la capacidad de desempeñarse en los departamentos 3 y 4. Con esto, se comprueba el cumplimiento de las restricciones en la asignación de este operario, puesto que se evidencia la polifuncionalidad aplicada en estos departamentos. Asimismo, al realizar un análisis de la Tabla XVI y XVII, se puede observar que se respetan el horario asociado al turno asignado para cada día. Ejemplo: El lunes el trabajador tiene asignado el turno 17 (Véase Tabla XVI), que de acuerdo al anexo No.22 inicia a las 10:00am y finaliza a las 2:00pm. Al hacer la similitud con la Tabla XVII, se observa que el trabajador comienza sus labores en el periodo 5 que corresponde a las 10:00am y finaliza a las 2:00pm que hace referencia al periodo 8 de la empresa. Por lo que se valida el adecuado funcionamiento de la restricción (9) y (10).

Es importante recordar la definición de la variable PO_{wldp} , dado que al evaluar su comportamiento con la habilidad 15, para los departamentos 3 y 4, se obtienen los resultados de la TABLA XVII, donde se observa que el día (1) lunes, el trabajador comienza sus labores en el departamento 4 ($PO_{15,4,1,5}$) y periodo 5. Finalmente, en el periodo 7, el trabajador comienza a operar en el departamento 3 ($PO_{15,3,1,7}$).

TABLA XVIII
RESULTADO PARCIAL DE PO PARA INSTANCIA 4-10%

PERIODO	HORA INICIO	HORA FIN	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
1	6	7			1				
2	7	8			1				
3	8	9			1				
4	9	10			1				
5	10	11	1						
6	11	12	1						
7	12	13	1						1
8	13	14	1			1			1
9	14	15				1			1
10	15	16				1			1
11	16	17		1		1			
12	17	18		1				1	
13	18	19		1				1	
14	19	20		1				1	
15	20	21						1	

Ahora bien, al verificar la restricción (7), que realiza el balance de personal demandado y ofertado, se analizó que la demanda requerida para el departamento 1, en el día 1 y el periodo 3 consistía en 4 personas y al finalizar, los resultados arrojaron una oferta de 5 empleados, 1 persona en estado de sobredotación y 0 personas en estado de subdotación, de manera que, se reafirma el cumplimiento del balance de (7).

En cuanto al nivel de servicio, se obtuvieron valores de 93,0%, 92,2%, 94,4% y 92,4% para los departamentos 1,2,3 y 4 respectivamente, con lo que se verifica que el modelo respeta la restricción (14 y 15) donde se establece un nivel de servicio mínimo de 92,0% para cada departamento.

Al analizar la restricción #11 que se encuentra formulada de la siguiente manera:

$$\sum_{t \in T_c} \sum_{n \in N_c} R_{c w d t n} \leq X_{c w} \quad \forall c \in C, w \in W, d \in D \tag{11}$$

Se observa que la variable R se encarga de asignaciones de un determinado contrato y habilidad hacia un turno, mientras que la variable X contabiliza la cantidad de personas contratadas con un determinado contrato y habilidad, pero debido a que los días de descanso dependen de una única secuencia para todas estas personas, lo que indica que el mismo día descansan todas las personas con una habilidad en un tipo de contrato, lo que muestra que no todos los días esta relación es igual, pues el día de descanso la variable R sería cero mientras que X conserva su valor, como se muestra a continuación

Se toma como ejemplo el resultado de la variable X con contrato 2 y habilidad 3

$$X_{23} = 4$$

Ahora para hacerle seguimiento se debe tener en cuenta que el contrato 2 consta de un día de descanso entre los días de la semana, por ende, se tomara el día antes del descanso y el día del descanso para ejemplificar el cumplimiento de la restricción, en este caso se tomara el día 4 y posteriormente el 5, el día corresponden al tercer subíndice.

$$R_{2,3,4,1,24} = 2$$

$$R_{2,3,4,3,6,24} = 2$$

$$2 + 2 \leq 4$$

Se observa que las personas guardadas en la variable X se dividen en la variable R en dos grupos, esto se debe a que esta variable tiene la potestad de dividir este grupo de personas en diferentes turnos, pero con la misma secuencia, como se observa en los dos últimos subíndices por ende se puede observar que al sumar las dos R dan 4 personas, lo que es menor o igual a X que también corresponde a 4 personas.

Siguiendo con el ejemplo el día de descanso depende de la secuencia 24 que indica que el descanso se debe asumir el día 5 (viernes), día en donde el R debe ser cero, al presentarse esto también se observa el cumplimiento de la restricción en donde 0 es menor o igual a 4.

$$R_{2,3,5,3,6,24} = 0$$

$$0 \leq 4$$

V. VERIFICAR

A. Medición de los impactos y resultados

En este apartado se mostrarán los resultados de los indicadores definidos en la etapa Medir, mediante la aplicación del modelo expuesto en la sección anterior. El objetivo consiste en reducir los costos asociados a la mano de obra mientras que se maximiza el nivel de servicio para cumplir con las metas del proyecto.

Con el fin de hacer una comparación entre los resultados obtenidos en la situación actual y el modelo propuesto, se hizo uso del solucionador CPLEX 20.1.0.0. Para ello se calculó la función objetivo, el tiempo computacional, la diferencia porcentual entre ambos métodos y el *Gap* obtenido para cada instancia del modelo propuesto, definido como el indicador que representa la desviación porcentual de la mejor solución entera respecto a la solución óptima. Para la ejecución del modelo se utilizó un equipo con procesador Intel Core i7 de octava generación CPU @ 1,30 GHz y memoria RAM de 8,00 Gb. Adicionalmente, se instauró un tiempo límite de ejecución de 2 horas para cada una de las instancias. Los resultados obtenidos del modelo se ilustran en la Fig.9. Las columnas hacen referencia a los costos de salario, capacitación, subdotación, sobredotación y penalización por nivel de servicio, para las que se calcula el porcentaje de variación ΔV (%) tras implementar el MPL propuesto, con el fin de evaluar el cumplimiento de las metas establecidas en la etapa medir.

Instancia	COSTOS														
	Salario			Capacitación			Subdotación			Sobredotación			Penalización NS		
	Actual	MPL	$\Delta V(\%)$	Actual	MPL	$\Delta V(\%)$	Actual	MPL	$\Delta V(\%)$	Actual	MPL	$\Delta V(\%)$	Actual	MPL	$\Delta V(\%)$
4-10	\$ 16 932 000	\$ 14 909 131	-12%	\$ 16 032	\$ 27 388	3%	\$ 1 550 401	\$ 408 622	-74%	\$ 456 341	\$ 664 597	46%	\$ 243 000	\$ 63 437	-74%
4-20	\$ 17 770 944	\$ 13 327 327	-25%	\$ 22 044	\$ 18 036	-18%	\$ 1 414 153	\$ 394 531	-72%	\$ 56 956	\$ 329 950	479%	\$ 222 200	\$ 61 688	-72%
4-30	\$ 19 360 464	\$ 12 893 186	-33%	\$ 12 024	\$ 22 712	89%	\$ 1 536 306	\$ 450 893	-71%	\$ 501 398	\$ 127 988	-74%	\$ 237 400	\$ 69 542	-71%
5-10	\$ 22 846 848	\$ 14 507 711	-37%	\$ 21 376	\$ 41 416	94%	\$ 1 423 550	\$ 695 126	-51%	\$ 664 294	\$ 72 800	-89%	\$ 222 500	\$ 108 139	-51%
5-20	\$ 22 419 456	\$ 20 775 669	-7%	\$ 24 048	\$ 37 408	56%	\$ 1 681 950	\$ 258 324	-85%	\$ 618 083	\$ 1 153 064	87%	\$ 262 500	\$ 40 193	-85%
5-30	\$ 22 211 040	\$ 17 295 731	-22%	\$ 3 006	\$ 28 724	856%	\$ 1 785 310	\$ 544 829	-69%	\$ 62 848	\$ 641 113	920%	\$ 279 000	\$ 83 826	-70%
6-10	\$ 28 026 960	\$ 22 930 795	-18%	\$ 17 368	\$ 30 060	73%	\$ 1 710 139	\$ 450 893	-74%	\$ 84 452	\$ 813 721	864%	\$ 266 700	\$ 69 829	-74%
6-20	\$ 29 632 320	\$ 21 188 439	-28%	\$ 29 392	\$ 36 072	23%	\$ 2 161 164	\$ 540 132	-75%	\$ 1 214 215	\$ 641 113	-47%	\$ 338 100	\$ 83 715	-75%
6-30	\$ 26 666 976	\$ 26 377 151	-1%	\$ 2 338	\$ 41 416	1671%	\$ 2 381 979	\$ 540 132	-77%	\$ 815 638	\$ 1 782 436	119%	\$ 374 400	\$ 83 385	-78%

Fig. 8. Consolidado de costos de método actual y MPL

Como se observa en la Fig. 9, el costo de salario presenta reducciones porcentuales significativas alcanzando valores de hasta el 37%, exceptuando la instancia 6-30 que presenta una disminución del 1%. Los costos de capacitación por su parte presentan un incremento. Esto quiere decir, que en el modelo ejecutado se asigna una mayor cantidad de personal polifuncional, con excepción

de la instancia 4-20. En cuanto a los costos de subdotación, estos presentan una reducción superior al 50%, mientras que la sobredotación presenta en algunas instancias incrementos superiores al 100% que pueden ser justificados, debido a que los costos asociados a la sobredotación representan un costo inferior al de subdotación. Finalmente, el costo de penalización del nivel de servicio presenta un decrecimiento porcentual con valores entre 51% y 85%, lo que implica que el modelo está garantizando una mejora en el nivel de servicio. A continuación, se detalla información sobre los diferentes indicadores.

Costos de salario

La Fig.10 ilustra la cantidad de contratos utilizados por cada método, en este se puede evidenciar que el modelo realiza una mayor cantidad de contrataciones en todas las instancias. No obstante, como se pudo observar en el consolidado pese a este incremento en la cantidad de contrataciones, el costo del salario presenta disminuciones, esto se debe a que el modelo utiliza una mayor variedad de contratos para su asignación (Fig.11) en contraste con el método actual (Fig.12).

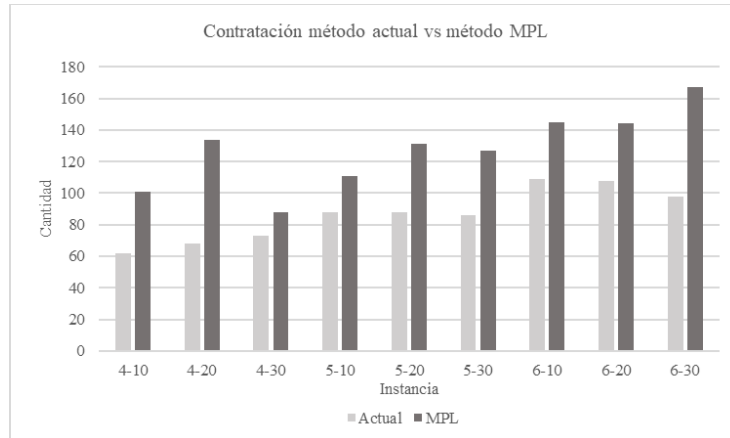


Fig. 9. Distribución de contratos con método MPL por instancia

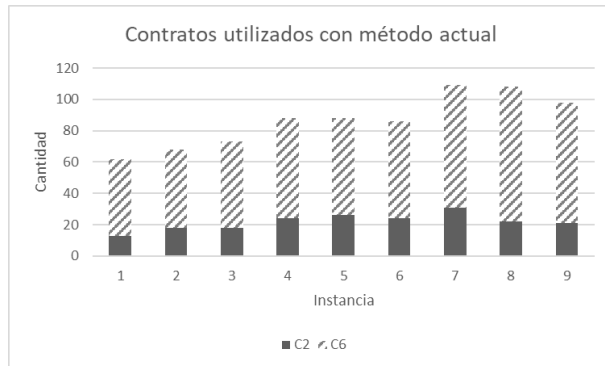


Fig. 11. Distribución de contratos con método actual

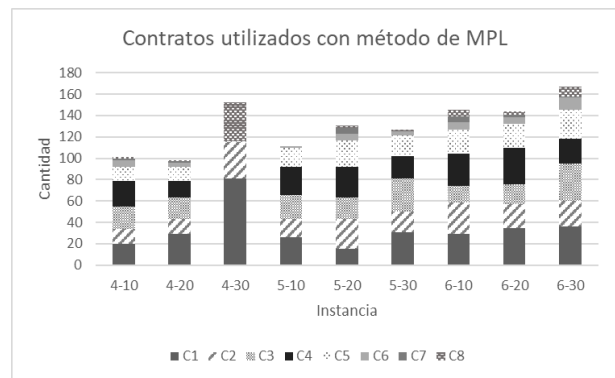


Fig. 10. Distribución de contratos con método MPL

Costos de capacitación

La Fig. No.13 hace referencia a la cantidad de personal polifuncional que fue capacitado en ambos métodos, estos al estar relacionados con el costo de capacitación, permiten confirmar el incremento que se presentó en los costos de capacitación, así como la reducción de su costo para la instancia 4-20, donde se observa que el método de MPL capacitó a una cantidad inferior a la del método actual.

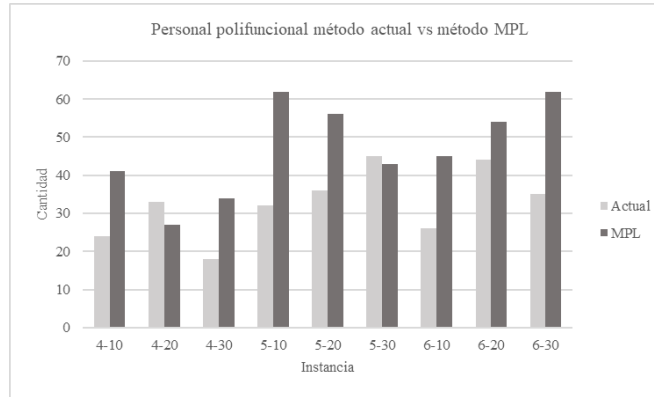


Fig. 12. Cantidad de personal polifuncional con método actual y MPL

Costos de subdotación y penalización de nivel de servicio

Los costos de subdotación presentaron la mayor reducción porcentual junto con la penalización por nivel de servicio, puesto que, al disminuir la cantidad de personal faltante en cada periodo, se genera de manera proporcional un mayor cumplimiento de la demanda de personal. Por tal motivo, la reducción porcentual tanto de subdotación como de penalización de nivel de servicio presentan valores aproximadamente iguales. La Fig.14 muestra la disminución en la cantidad de personal en estado de subdotación al implementar el MPL.

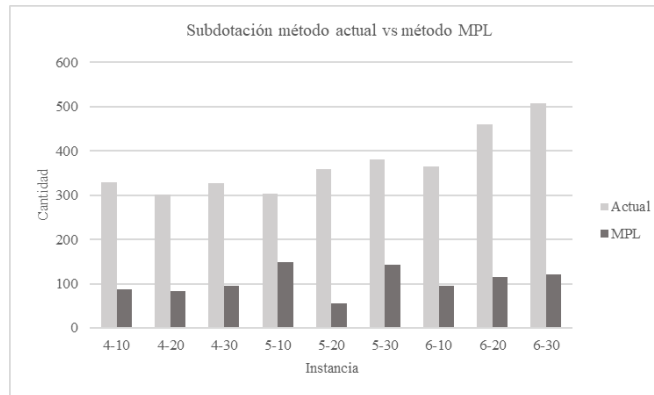


Fig. 13. Cantidad de personal en estado de subdotación con método actual y MPL

Costos de sobredotación

El costo de sobredotación presenta un comportamiento inestable en las diferentes instancias. La fig. No.X permite mostrar que la variación de este costo fluctúa entre valores positivos y negativos, debido a que en algunas instancias la cantidad de sobredotación con el modelo es mayor que con el método actual o menor. Este comportamiento se produce debido a que el modelo busca equilibrar los diferentes costos y en instancias como la 5-20, 5-30, 6-30 incurrir en un mayor costo de sobredotación, representaba una mejora en los costos totales.

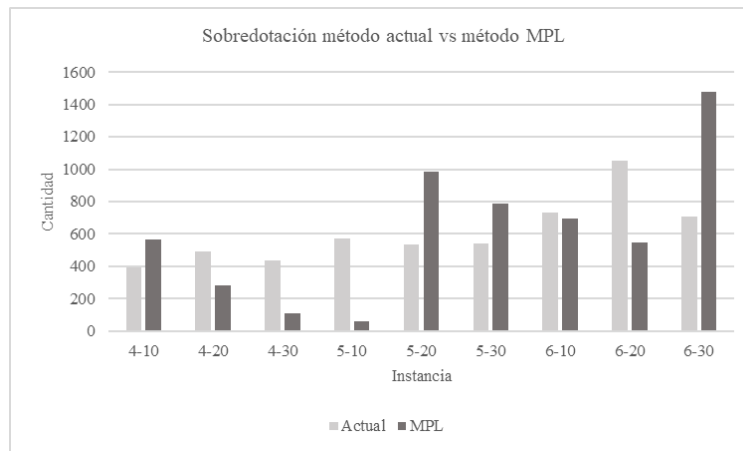


Fig. 14. Cantidad de personal en estado de sobredotación con método actual y MPL

Teniendo en cuenta lo anterior, los costos totales se ilustran en la TABLA XVIII, junto con el indicador de nivel de servicio, el *Gap*, T Comp [h] que hace referencia al tiempo de ejecución del modelo en horas y finalmente el estatus, que corresponde a un número de estado que reporta CPLEX tras ejecutar un modelo y está asociado a la factibilidad y/o ausencia de límites en cada solución [28].

TABLA XIX
RESULTADO FINAL DE INDICADORES

Instancia	Costo Total (COP)			Nivel de servicio (%)			Datos MPL		
	Actual	MPL	$\Delta V(\%)$	Actual	MPL	$\Delta V(\%)$	Gap	T. Comp [h]	Estatus
4-10	\$ 19 197 774	\$ 16 073 174	-16,28%	87,85%	96,81%	10,20%	25,82%	2,3	521
4-20	\$ 19 486 297	\$ 14 131 532	-27,48%	88,89%	96,92%	9,03%	15,61%	2,0	422
4-30	\$ 21 647 592	\$ 13 564 320	-37,34%	88,13%	96,52%	9,52%	10,97%	2,0	422
5-10	\$ 25 178 568	\$ 15 425 192	-38,74%	91,10%	95,67%	5,02%	3%	2,0	422
5-20	\$ 25 006 037	\$ 22 264 658	-10,96%	89,50%	98,39%	9,94%	32,86%	2,0	422
5-30	\$ 24 341 204	\$ 18 594 223	-23,61%	88,84%	96,65%	8,79%	19,60%	2,0	422
6-10	\$ 30 105 619	\$ 24 295 298	-19,30%	91,11%	97,67%	7,20%	25,95%	2,0	422
6-20	\$ 33 375 191	\$ 22 489 471	-32,62%	88,73%	97,21%	9,56%	20,10%	2,0	422
6-30	\$ 30 241 331	\$ 28 824 519	-4,69%	87,52%	97,22%	11,08%	37,93%	2,0	422

Al analizar los resultados, se cumple satisfactoriamente la meta propuesta de generar un incremento superior al 5% en el nivel de servicio en todas las instancias y una reducción en los costos totales del 5%, exceptuando la instancia 6-30, con la cual se obtuvo una reducción del 4.60%. No obstante, es importante mencionar que entre mayor es el tiempo computacional, mayor es la reducción en costos totales que se alcanza, puesto que el *GAP* va disminuyendo y por ende su solución se vuelve más próxima al óptimo. Por lo que es posible superar la meta si se aumenta el tiempo computacional.

Conviene subrayar que el valor más cercano al óptimo es el de la instancia 5-10 que presentó un *Gap* de 3% y a su vez la mayor reducción de costos (38.74%) y una maximización del nivel de servicio del 5.02%. Asimismo, el estatus alcanzado por la mayoría de las instancias (422), significa que el problema tiene solución entera en un tiempo límite, mientras que el estatus 521 se refiere a que se abortó la ejecución del modelo antes de que el programa lo finalizara, no obstante, este cuenta con una solución entera [28]. En este caso, el motivo del aborto se debe a que se buscaba que todas las instancias tuvieran un tiempo de computación equivalente para estar en capacidad de relacionar los resultados.

Para la medición del impacto se realizaron diferentes variaciones sobre el modelo principal de PL entera mixta, también se realizaron comparaciones entre las diferentes variantes y el modelo principal. En total se realizaron 3 variantes que se describirán a continuación y se mostrará su respectiva comparación.

Variante I (V-I)

Teniendo en cuenta que el modelo principal parte del supuesto de que existe inviabilidad para intercambiar personal entre determinados departamentos, esto implica que algunas habilidades no existan, como por ejemplo el caso de un cajero que no puede ser carnicero o un carnicero que no puede ser cajero. Lo anterior, muestra la necesidad de que esta habilidad no exista, por ende, la variante tiene en consideración el supuesto de que todos los departamentos son compatibles entre sí, dando la existencia de todas las posibles combinaciones pareadas.

Para la modelación de esta variante se eliminó el conjunto que guardaba las habilidades incompatibles (W_i), se incluyeron todas las habilidades relacionadas por departamento en el subconjunto (W_i). La ejecución del modelo con la variante se realizó con la instancia 4-3 con un tiempo límite (Tcomp) de 1 hora, con el fin de que los resultados puedan ser comparables. A continuación, se muestran los resultados en la Tabla XIX y XX

TABLA XX
RESULTADOS VARIANTE I VS MODELO INICIAL

Costos	Incompatibles	Compatibles (V-I)	$\Delta V(\%)$
Salario	\$ 12 897 177,96	\$ 13 560 679,24	5,14%
Subdotación	\$ 446 196,00	\$ 432 105,60	-3,16%
Sobredotación	\$ 364 002,00	\$ 280 633,80	-22,90%
Capacitación	\$ 5 088,20	\$ 2 974,64	-41,54%
Servicio	\$ 69 713,38	\$ 22 794,62	-67,30%
Totales	\$ 13 782 177,54	\$ 14 299 187,90	3,75%
Gap	13,59%	16,99%	

TABLA XXI
RESULTADOS DE PERSONAL VARIANTE I VS MODELO INICIAL

Personal	Incompatibles	Compatibles (V-I)	$\Delta V(\%)$
Contratados	98	89	-9,18%
Polifuncionales	65	35	-46,15%
Especialistas	33	54	63,64%

Al comparar el modelo con V-I, el resultado de los costos en términos monetarios refleja variaciones cuando se elimina dicha limitación, al obtener una reducción del 3,16%, 22,90% y 41,54% en la variación porcentual de los costos de subdotación, sobredotación y capacitación respectivamente. Sumado a lo anterior, el costo de penalización de servicio se reduce alrededor de \$47 000, lo cual se debe a la compatibilidad entre departamentos, puesto que al presentarse una reducción en los costos de subdotación, se garantiza un mayor cumplimiento de la demanda de personal. No obstante, al consolidar los costos es posible afirmar que, pese a la existencia de incompatibilidad entre los departamentos y que esta pueda verse como una limitación, en términos de costos, resulta favorable la restricción puesto que permite una reducción del 3,75% en los costos totales del modelo principal, obteniendo un valor de 13 782 172,5 COP.

Adicionalmente, al revisar los resultados de contratación (TABLA XX) se puede observar que el modelo original, considera una mayor cantidad de personal polifuncional y pese a contar con una mayor cantidad de personal contratado, esto genera una reducción en el costo del salario en comparación con los resultados de la variación. Por lo que nuevamente se comprueba que la existencia de dichas incompatibilidades, en este caso, resulta benéfica.

Variante II (V-II)

Teniendo en cuenta el supuesto de una jornada para todos los contratos, incluyendo aquellos con jornadas de más de 6 horas, se establece como variante la inclusión de una hora en los horarios correspondientes al almuerzo para los contratos que cuenten con 6 horas laborales diarias o más. Cabe resaltar que esa hora de descanso no se contabiliza como hora laboral, por lo que se creó un nuevo parámetro dependiente del turno por tipo de contrato y los diferentes periodos del día (ALM_{tp}) que está compuesto por las diferentes combinaciones de los contratos de manera binaria y con puntos que demarcan la inexistencia del turno en determinados

periodos. Este nuevo parámetro multiplica la variable encargada de contabilizar el número de personas contratadas con determinada habilidad, para anular la labor del operario en su hora de descanso cuando la binaria toma el valor de 0 (periodo de almuerzo). La operación mencionada se puede observar en la restricción #9 como se observa a continuación:

$$\sum_{l \in L_w} PO_{wldp} = \sum_{c \in C} \sum_{t \in T_c: HIT_t \leq HIP_p \wedge HFT_t \geq HFP_p} \sum_{n \in N_c} R_{cwdtn} * ALM_{tp} \quad \forall d \in D, p \in P, w \in W \quad (9)$$

Los resultados de la variante se comparan con los resultados de la instancia 4-30 con un tiempo límite de 2 horas (Véase Tabla XXI)

TABLA XXII
RESULTADOS VARIANTE II

Costos	4-30	4-30 Almuerzos (V-II)	$\Delta V(\%)$
Salario	\$ 12 897 177,96	\$ 14 989 132,68	16,22%
Subdotación	\$ 446 196,00	\$ 164 388,00	-63,16%
Sobredotación	\$ 364 002,00	\$ 772 623,60	112,26%
Capacitación	\$ 69 713,38	\$ 3 366,04	-95,17%
Servicio	\$ 5 088,20	\$ 25 654, 20	204,19%
Totales	\$ 13 782 177,54	\$ 15 955 164,52	15,77%
Gap	13,59%	25,38%	

Personal	4-30	4-30 Almuerzos (V-II)	$\Delta V(\%)$
Contratados	98	111	13,27%
Polifuncionales	65	43	-33,85%
Especialistas	33	68	106,06%

Al considerar la extensión de la jornada para la inclusión de la hora de almuerzos, se presenta un incremento en el costo de salario en \$2 091 955, lo cual hace referencia a un incremento 16,22% en respecto al modelo que no considera dicho periodo de descanso. A su vez un aspecto positivo consiste en la disminución de los costos de subdotación, dado que disminuyen en \$281 808 debido a que al extender la jornada y al tener dos horarios de almuerzo diferentes para cada turno, se genera la posibilidad de realizar una cobertura a la demanda de personal en los horarios donde más se requiere.

Asimismo, la franja horaria del almuerzo repercute sobre los costos de sobredotación, donde se presenta un incremento, dado que al contar con personas descansando en el horario de 12-2pm, el modelo realiza una mayor contratación de personal para estar en capacidad de cubrir la demanda de personal requerida en ese horario y permitir el descanso de los trabajadores.

Otro aspecto importante, es la disminución de los costos de capacitación en un 95,17% ya que al tener contar con menor cantidad de personal polifuncional (43 personas), la cantidad de personal especialista aumenta (65 trabajadores) cuando se extienden los turnos. Cabe resaltar que el *Gap* obtenido en un tiempo de 2 horas fue de 25,38%, lo cual indica que la solución arrojada puede mejorar.

Variante III (V-III)

Esta variante consiste en la eliminación de los costos de salario, capacitación y penalización por nivel de servicio en la variante II (V-II), con el fin de observar e interpretar el comportamiento del modelo solamente con los costos de faltantes y sobrantes, debido a que este enfoque permite observar la forma en que se compensan ambos costos para dar cumplimiento al nivel de servicio que se tiene como meta.

Los resultados de la variante III se ilustran en la Tabla XXII Y XXIII, dicha variante se ejecutó por un tiempo de 5.5 horas y obtuvo un Gap del 81,4% lo que corrobora la dificultad presentada para encontrar soluciones factibles de este modelo por el aplicativo AMPL

TABLA XXIII
RESULTADOS NIVEL DE SERVICIO VARIANTE III

Departamento	V-II	V-III
1	96,2%	99,71%
2	99,7%	99,85%
3	100,0%	100,00%
4	99,0%	100,00%

TABLA XXIV
RESULTADOS DE COSTOS Y CONTRATACIÓN VARIANTE III

Personal	Cantidad	Costos	V-III
Polifuncional	59	Subdotación	\$ 14 090,40
Especialistas	47	Sobredotación	\$ 244 233,60
Total	106	Total	\$ 258 324,00

Esta variante del modelo presenta un mayor grado de dificultad que se refleja en el valor de su *GAP* al finalizar el tiempo de cómputo (81,4%). Dicha dificultad se presenta por la decisión que implican los costos por unidad de personal en estado de subdotación y sobredotación ya que, el modelo busca compensar dichos costos y esto produce que su solución sea más lenta que el resto de los problemas. Por otra parte, el nivel de servicio al exigir que haya un porcentaje mínimo subdotación, obliga al modelo a contratar una alta cantidad de personas, esto debido a que se eliminó el costo de contratar y capacitar.

Variante IV (V-IV)

Para hacer una revisión de los resultados de los modelos tras ampliar los tiempos de cómputo, se considera la variante IV, la cual ejecuta la instancia 4-30 del modelo principal con tiempos de ejecución diferentes. (Véase Fig.16)

4-30	1 Horas	3 Horas	7 Horas	Comportamiento
Salario	\$ 26 228 340	\$ 25 605 388	\$ 11 408 762	
Capacitación	\$ 3 209	\$ 3 131	\$ 6 106	
Subdotación	\$ 948 754	\$ 906 482	\$ 652 855	
Sobredotación	\$ 2 452 512	\$ 2 320 219	\$ 18 787	
Servicio	\$ 146 930	\$ 140 352	\$ 100 823	
Total	\$ 29 779 745	\$ 28 975 572	\$ 12 187 333	
Gap	64,40%	63,41%	13,01%	

Fig. 15. Resultados de Variante IV

Teniendo en cuenta los resultados, se consigue un decrecimiento en los costos de salario, subdotación, sobredotación y servicio y un crecimiento en los costos de capacitación a medida que el tiempo de cómputo aumenta. Es importante hacer énfasis en que a mayor tiempo de cómputo, menor es el *GAP* y por ende la solución es más cercana al óptimo y se obtienen mayores variaciones porcentuales benéficas para el proyecto.

B. Estandarización de la solución

En este apartado se hará una reflexión sobre los requisitos que deben cumplir las empresas al momento de aplicar el modelo de asignación de personal propuesto en este proyecto.

Como medida inicial, es indispensable que la empresa cuente con licencia de AMPL vigente, así como un equipo de cómputo con un procesador de alto rendimiento, que incluya preferiblemente una alta frecuencia de reloj y una gran cantidad de núcleos que agilicen la ejecución del modelo[29]. En caso de no contar con el aplicativo, la empresa puede hacer uso del servidor NEOS, que permite correr el modelo de manera remota, mediante el uso de procesadores de alto rendimiento. Adicionalmente, es necesario que la organización cuente con un pronóstico de demanda de personal semanal confiable, basado en datos históricos cuidadosamente recolectados. La periodicidad de la aplicación del modelo dependerá que la factibilidad de que los requerimientos de personal varíen de un periodo de tiempo a otro, lo cual debe determinarse con anterioridad. Una forma de abordar lo anterior, puede ser mediante la programación mensual de la asignación con base en el pronóstico de la demanda de la semana en la que se espere un mayor nivel de variación.

Otro aspecto por considerar es la inclusión de costos de faltantes, que no supone un cálculo estandarizado o un valor muy evidente. Por el contrario, implica un estudio sobre la pérdida de oportunidad en la que incurre la empresa al no contar con suficiente personal. Para ello, se propone entre otras, el uso de herramientas estocásticas. El costo de personal excedente también debe haber sido evaluado, para garantizar que la asignación del personal no se vea sesgada debido a suposiciones sin fundamentos. Además, se deben tener definidos los diferentes contratos que la empresa está dispuesta a considerar dentro del marco legal del país en el que se encuentre ubicada, así como los turnos y secuencias de descanso permitidas. Por otro lado, la organización debe estudiar previamente la compatibilidad entre sus diferentes departamentos, evaluando la viabilidad de que un empleado de determinada área adquiriera las capacidades para trabajar en otra, considerando, además, el costo asociado a dicha capacitación.

Adicionalmente, la empresa debe adoptar una postura más flexible frente a la contratación, debido a que el modelo no considerará los empleados que ya se encuentren contratados por la empresa. En cuanto al nivel de servicio, es necesario que se cuente con los suficientes datos históricos para identificar aquellos periodos en los que los requerimientos de personal no han sido satisfechos, con el fin de obtener los niveles de servicio actuales por departamento. Los datos anteriores permitirán establecer metas realistas sobre los incrementos esperados en dicho indicador, que servirán como datos de entrada para el modelo, así como el costo de penalización que se adoptará.

Como última medida, se recomienda que se cuente con registros históricos sobre los indicadores propuestos en el proyecto, para medir el impacto alcanzado mediante la aplicación parcial o total del modelo.

C. Conclusiones

A partir de la investigación llevada a cabo a lo largo de este proyecto, fue posible desarrollar un modelo de programación lineal entera mixta que permitiera la asignación de personal de forma flexible, empleando trabajadores polifuncionales que redujera los costos totales asociados a la mano de obra desde un 4,7% a un 37%. Adicionalmente, se logró un incremento promedio del 9% en el nivel de servicio, aún sin alcanzar la solución óptima. Lo anterior, reafirma la gran utilidad a nivel de económico, que los modelos de asignación de recursos tienen sobre problemas complejos que resultan muy difíciles de resolver de forma manual. Es importante destacar que, pese al tiempo que debe dedicarse al diseño de un modelo como este y el tiempo computacional que se toma el modelo para llegar a una solución óptima o incluso muy buena, a largo plazo, permitirá disminuir los tiempos que antiguamente eran utilizados para la asignación de forma manual de los empleados, al automatizar el proceso de asignación y evitando el uso de los recursos humanos para dicho fin.

Por otro lado, se encontró una relación inversa entre la variación de la demanda y el porcentaje de reducción de los costos totales, siendo este último de 25%, 24% y 22%, para las instancias con una variación del 10%, 20% y 30% respectivamente. Lo anterior, sugiere que a mayor sea la homogeneidad de los datos, más eficiente es la solución del modelo. Sin embargo, esta característica no garantiza un menor nivel de sub o sobredotación, de acuerdo con los resultados de la tabla FGHD.

Mediante los resultados obtenidos en relación a las variantes del modelo, fue posible identificar que la adición de más limitaciones al modelo, tiene una relación inversa con la solución obtenida. Esto se puede evidenciar en la instancia 4-30 que fue ejecutada sin considerar inicialmente la incompatibilidad existente entre algunas habilidades. Al implementarse nuevamente considerando las incompatibilidades existentes, el costo total tuvo un incremento del 3,66%, pese a que el tiempo de ejecución fue el mismo (2 horas). Sin embargo, con la adición de esta nueva característica se llegó a un Gap del 13,59%, inferior al obtenido sin considerar las incompatibilidades (16,99). Lo anterior, permite interpretar que las limitaciones añadidas al modelo, además de generar una solución más realista, reducen el tiempo de ejecución necesario para llegar a una solución de mayor calidad.

Respecto a los tipos de contratos utilizados, en la situación actual el porcentaje de contratos cortos (de 4 y 6 horas) fue de tan solo del 25,26%, mientras que en el modelo fue de 74,77%. Este incremento sugiere que el modelo, con el fin de distribuir mejor sus recursos, evita contrataciones que impliquen una jornada muy extensa; por el contrario, le resulta más eficiente la diversificación en la adquisición de contratos, debido al cubrimiento más localizado de los picos de demanda, sin asignar personal en puntos en donde la demanda sea baja. De hecho, el modelo hizo un mayor número de contrataciones, pero el costo de salarios fue inferior al usar dichos contratos. Esto evidencia los beneficios del uso de contratos cuyas duraciones sean más variadas.

En relación a la variante que incluye el tiempo inactivo debido a la franja de almuerzos, los resultados mostraron una reducción del 41,60% en el porcentaje de personal polifuncional contratado, en relación con la variante sin almuerzo. Lo anterior sugiere que, debido a la ausencia de personal en la franja horaria destinada al almuerzo, el modelo considera más conveniente cubrir dichos requerimientos con personal especialista, es decir, capacitados para trabajar en un único departamento.

D. Recomendaciones

Para futuras investigaciones en relación al eje de este proyecto se recomienda estudiar la inclusión de personal ya contratado al modelo. Esto permitiría obtener asignaciones que no desconocieran los recursos ya existentes, además de conectar cada programación con la siguiente. Adicionalmente se propone la adición de preferencias de asignación de los trabajadores tanto para los contratos posibles, como para secuencias de descanso semanales y/u horas de almuerzo.

Con el fin de reducir los tiempos computacionales que requieren modelos como el propuesto en este proyecto, se recomienda el uso de un equipo con un procesador de alto rendimiento y una memoria RAM de un tamaño mínimo de 8Gb. El uso de servidores virtuales puede ser una herramienta muy útil, pero al ser utilizada por otros usuarios, conlleva a un tiempo de espera que puede extender mucho más el transcurrido para encontrar una solución de calidad.

Al momento de diseñar un modelo de programación lineal como el tratado durante este proyecto, es imperativo que se realice una caracterización de la empresa que se va a tratar, en la que se identifiquen las variables o datos a tener en cuenta en el modelo. Esto facilitará la definición de parámetros y evitará que se empleen datos con una magnitud inapropiada. Adicionalmente, a la hora de estudiar los resultados del modelo, se recomienda planear con anterioridad el análisis que se va a llevar a cabo y los indicadores que se quieren medir o comparar entre instancias. Esto permitirá la creación de variables que faciliten la medición de dichos elementos que se deseen estudiar.

En relación al diseño del modelo, es recomendable que se descarten relaciones inexistentes y se restrinja el modelo desde un principio para evitar que considere combinaciones que no tienen validez y se presente un mayor gasto de recursos computacionales y tiempos de ejecución para encontrar una solución factible.

Por último, es recomendable que se creen instancias con diferentes variaciones, que puedan arrojar resultados concluyentes frente a la correlación entre variables. Esto permitiría concluir sobre el escenario en el que el modelo tiene un mayor impacto o una mayor utilidad.

VI. GLOSARIO

En este apartado se hará una recopilación de definiciones o abreviaciones en relación al proyecto.

Scheduling:	“El trabajo o actividad de planificar los momentos en los que se realizarán determinadas tareas o se realizarán eventos” [24].
Estocástica:	Hace referencia a que la distribución de los datos es aleatoria, es decir, tiene una variabilidad muy alta por lo que podría decirse que en ocasiones esta es desconocida [26].
Demanda determinística:	Hace referencia a los datos conocidos, es decir, la demanda se conoce con certeza [27].
K-chaining:	Estructuras flexibles en donde se encadenan un número k de actividades (secuencias genómicas) [4].
N-P completo:	Por sus siglas en inglés nondeterministic polynomial time (tiempo polinomial no determinista). Hace referencia al subconjunto de problemas de decisión en el cual es imposible encontrar un algoritmo eficiente para hallar una solución óptima al problema
Programación lineal:	“Se define como caso particular de la programación diferenciable con restricciones de desigualdad, cuando todas las funciones que intervienen son funciones lineales... en él, las soluciones óptimas estarán en los vértices” [30].
Instancias:	Es la particularización específica de un determinado prototipo o modelo matemático.
Normalidad en la demanda:	Datos simulados que siguen una distribución normal tomando como referencia datos reales a quienes se les aplica cierta variación para lograr el comportamiento esperado.
Modelo de programación lineal con flexibilidad:	Hace referencia a la planeación de las asignaciones de personal desde el inicio, es decir, sin tener en cuenta los contratos que ya tenga la empresa [7].
Gap:	representa la diferencia entre el valor de la función del modelo lineal relajado y el valor de la función del modelo entero.

VII. ANEXOS

TABLA XXV
TABLA DE ANEXOS

No. Anexo	Nombre	Desarrollo (propio o terceros)	Tipo de Archivo (PDF, HTLM, Excel, Word...)
1	Anexo1_PD1_2021_1_105 Tabla y matriz Impacto-influencia	propio	Excel
2	Anexo2_PD1_2021_1_105 Hoja de trabajo grupos de interés	Propio	Word
3	Anexo3_PD1_1_105 Plan de recolección de datos	Propio	Excel
4	Anexo4_PD1_1_105 PESTEL, matriz DOFA y Dashboard	Propio	Excel
5	Anexo5_PD1_1_105 Preguntas de entrevistas	Propio	Excel
6	Anexo6_PD1_1_105 Parámetros	Propio	dat
7	Anexo7_PD1_1_105 Hoja de trabajo de identificación requisitos grupos de interés	Propio	Word
8	Anexo8_PD1_1_105 Exploración de mercado	Propio	Word
9	Anexo9_PD1_1_105 Lista de chequeo para revisión documental	Propio	Word
10	Anexo10_PD1_1_105 Código C + +	Propio	cpp
11	Anexo11_PD1_1_105 Datos reales para simulación	Terceros	Excel
12	Anexo12_PD1_1_105 Instancia 4 Departamentos - Variación 10	Propio	txt
13	Anexo13_PD1_1_105 Instancia 4 Departamentos - Variación 20	Propio	txt
14	Anexo14_PD1_1_105 Instancia 4 Departamentos - Variación 30	Propio	txt
15	Anexo15_PD1_1_105 Instancia 5 Departamentos - Variación 10	Propio	txt
16	Anexo16_PD1_1_105 Instancia 5 Departamentos - Variación 20	Propio	txt
17	Anexo17_PD1_1_105 Instancia 5 Departamentos - Variación 30	Propio	txt
18	Anexo18_PD1_1_105 Instancia 6 Departamentos - Variación 10	Propio	txt
19	Anexo19_PD1_1_105 Instancia 6 Departamentos - Variación 20	Propio	txt
20	Anexo20_PD1_1_105 Instancia 6 Departamentos - Variación 30	Propio	txt
21	Anexo21_PD1_1_105 Salarios	Propio	Excel
22	Anexo22_PD1_1_105 Turnos de trabajo	Propio	Excel
23	Anexo23_PD1_1_105 Estado Actual V4-10	Propio	Excel
24	Anexo24_PD1_1_105 Estado Actual V4-20	Propio	Excel
25	Anexo25_PD1_1_105 Estado Actual V4-30	Propio	Excel

26	Anexo26_PD1_1_105 Estado Actual V5-10	Propio	Excel
27	Anexo27_PD1_1_105 Estado Actual V5-20	Propio	Excel
28	Anexo28_PD1_1_105 Estado Actual V5-30	Propio	Excel
29	Anexo29_PD1_1_105 Estado Actual V6-10	Propio	Excel
30	Anexo30_PD1_1_105 Estado Actual V6-20	Propio	Excel
31	Anexo31_PD1_1_105 Estado Actual V6-30	Propio	Excel
32	Anexo32_PD1_1_105 Variación y Análisis de Oportunidad	Propio	Excel
33	Anexo33_PD1_1_105 Metodología AHP	Propio	Excel
34	Anexo34_PD1_1_105 Situación Actual	Propio	Excel
35	Anexo35_PD1_1_105 Plan de trabajo (PdT)	Propio	Project
36	Anexo36_PD2_2_105 Archivos Modelo y Resultados	Propio	Rar
37	Anexo37_PD1_1_105 Resultados Consolidados de costos y gráficos	Propio	Excel
38	Anexo38_Pd2_2_105 Resultados de variaciones	Propio	Rar
39	Anexo39_PD2_2_105 Manual de usuario	Propio	Pdf

VIII.REFERENCIAS

- [1] E. Mensual, R. E. Mensual, G. Almacenes, H. Minoristas, and F. Metodol, "Boletín Técnico Boletín Técnico," pp. 1–29, 2021.
- [2] Maiti and Bidingger, "ESTUDIO ECONÓMICO DEL SECTOR RETAIL EN COLOMBIA," *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 1981.
- [3] Cámara Colombiana de Comercio Electrónico, "Impacto del del covid-19 sobre electrónico comercio en Colombia," *Cámara Colombiana de Comercio Electrónico*, vol. 24, pp. 1–2, 2020.
- [4] C. Augusto, H. Botero, and J. C. Muñoz, "Polifuncional Para El Sector Servicios : Caso Aplicado a La Industria Del Retail Polifuncional Para El Sector Servicios : Caso Aplicado a La," 2015.
- [5] X. Cai and K. N. Li, "A genetic algorithm for scheduling staff of mixed skills under multi-criteria," *European Journal of Operational Research*, vol. 125, no. 2, pp. 359–369, Sep. 2000, doi: 10.1016/S0377-2217(99)00391-4.
- [6] A. F. Porto, C. A. Henao, H. López-Ospina, and E. R. González, "Hybrid flexibility strategy on personnel scheduling: Retail case study," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 133, no. January, pp. 220–230, 2019, doi: 10.1016/j.cie.2019.04.049.
- [7] S. M. Iravani, M. P. Van Oyen, and K. T. Sims, "Structural flexibility: A new perspective on the design of manufacturing and service operations," *Management Science*, vol. 51, no. 2, pp. 151–166, 2005, doi: 10.1287/mnsc.1040.0333.
- [8] R. B. Wallace and W. Whitt, "A staffing algorithm for call centers with skill-based routing," *Manufacturing and Service Operations Management*, vol. 7, no. 4, pp. 276–294, 2005, doi: 10.1287/msom.1050.0086.
- [9] S. Maturana, "Proceedings of the XVIII Latin-Iberoamerican Conference on Operations Research , CLAIO 2016," no. November, p. 8, 2016.
- [10] R. Batta, O. Berman, and Q. Wang, "Balancing staffing and switching costs in a service center with flexible servers," *European Journal of Operational Research*, vol. 177, no. 2, pp. 924–938, 2007.
- [11] W. J. Hopp, E. Tekin, and M. P. Van Oyen, "Benefits of Skill Chaining in Serial Production Lines with Cross-Trained Workers," *Management Science*, vol. 50, no. 1, pp. 83–98, 2004, doi: 10.1287/mnsc.1030.0166.
- [12] X. Wang and J. Zhang, "Process flexibility: A distribution-free bound on the performance of k-Chain," *Operations Research*, vol. 63, no. 3, pp. 555–571, 2015, doi: 10.1287/opre.2015.1370.
- [13] "Presentación del ministerio." <https://www.mintrabajo.gov.co/es/web/guest/el-ministerio/nuestra-funcion/presentacion-del-ministerio> (accessed Mar. 20, 2021).
- [14] Cámara Colombiana de Comercio Electrónico, "Impacto del del covid-19 sobre electrónico comercio en Colombia," *Cámara Colombiana de Comercio Electrónico*, vol. 24, pp. 1–2, 2020.
- [15] P. Wolff, "Modelos de Programación Matemática para asignación de pabellones quirúrgicos en hospitales públicos," 2011.
- [16] G. Nannicini, P. Belotti, J. Lee, J. Linderoth, F. Margot, and A. Wächter, *Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems*, vol. 6697, no. May. 2011. doi: 10.1007/978-3-642-21311-3.
- [17] J. A. Paul and L. MacDonald, "Modeling the benefits of cross-training to address the nursing shortage," *International Journal of Production Economics*, vol. 150, pp. 83–95, 2014, doi: 10.1016/j.ijpe.2013.11.025.
- [18] M. Mac-Vicar, J. C. Ferrer, J. C. Muñoz, and C. A. Henao, "Real-time recovering strategies on personnel scheduling in the retail industry," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 113, no. August, pp. 589–601, 2017, doi: 10.1016/j.cie.2017.09.045.
- [19] "Diario Oficial Código Sustantivo del Trabajo," 1951. <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Codigo/30019323> (accessed May 01, 2021).
- [20] A. F. Porto, C. A. Henao, H. López-Ospina, E. R. González, and V. I. González, "Dataset for solving a hybrid flexibility strategy on personnel scheduling problem in the retail industry," *Data in Brief*, vol. 32, 2020, doi: 10.1016/j.dib.2020.106066.
- [21] "Bloomberg," 2021. <https://www.bloomberg.com/quote/USDCOP:CUR> (accessed May 01, 2021).
- [22] C. A. Henao, J. C. Munoz, and J. C. Ferrer, "The impact of multi-skilling on personnel scheduling in the service sector: A retail industry case," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 66, no. 12, pp. 1949–1959, 2015, doi: 10.1057/jors.2015.9.

- [23] Congreso de la República de Colombia, “Ley 100 De 1993,” *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. diciembre 23, pp. 1689–1699, 2013.
- [24] R. Batta, O. Berman, and Q. Wang, “Balancing staffing and switching costs in a service center with flexible servers,” *European Journal of Operational Research*, vol. 177, no. 2, pp. 924–938, 2006, doi: 10.1016/j.ejor.2006.01.008.
- [25] Y. A. Mercado, “BENEFICIOS DE LA POLIFUNCIONALIDAD LABORAL EN LA INDUSTRIA RETAIL: ENFOQUE ‘K-ENCADENAMIENTO’ CON INCERTIDUMBRE EN LA DEMANDA,” 2021. doi: 10.13140/RG.2.2.36466.63688.
- [26] P. De *et al.*, “Problema de asignación óptima de salones resuelto con Búsqueda Tabú,” *Ingeniería y Desarrollo*, no. 24, pp. 149–175, 2008.
- [27] Raúl Ojeda Villagómez, “Programación lineal para la asignación de personal a horarios de trabajo : El caso de una empresa de atención telefónica en México,” *XVII Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática*, pp. 2–19, 2012.
- [28] D. M. Gay, “The solver “cplex.” <http://www.netlib.org/ampl/solvers/cplex/README.cplex> (accessed Nov. 21, 2021).
- [29] “Qué es un procesador, características y tipos,” 2021. https://www.pccomponentes.com/procesador-cpu-que-es-caracteristicas-tipos?__cf_chl_captcha_tk__=Azj7yZg1dcXmcBJ1SaQSXFqgaHuIR8pcZ6apJ7A2eBA-1637555671-0-gaNycGzNCKU (accessed Nov. 21, 2021).
- [30] Universitat de Barcelona, “Programación lineal,” *Grup d’Innovació Docent en Matemàtica Econòmica i Optimització*.