



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Matemáticas

Escuela Profesional de Investigación Operativa

**Modelo de optimización mediante programación lineal
entera binaria para la asignación de la cartera de
clientes a supervisores en una empresa de saneamiento
ambiental**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Licenciada en Investigación
Operativa

AUTOR

Mireya Melany CALLUPE ARTICA

ASESOR

Mg. José Carlos ORÉ LUJÁN

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Callupe, M. (2021). *Modelo de optimización mediante programación lineal entera binaria para la asignación de la cartera de clientes a supervisores en una empresa de saneamiento ambiental*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Mireya Melany Callupe Artica
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71239410
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6979-2785
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	José Carlos Oré Luján
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06119405
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-2174-4485
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Esther Berger Vidal
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08766040
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Lucy Haydee De La Cruz Cuadros
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06554824
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.3.3.1 Optimización Matemática
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.

Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Coordenadas geográficas Latitud: -12.058333 Longitud: -77.083333
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2021
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL EN
LA MODALIDAD VIRTUAL PARA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL
DE LICENCIADO(A) EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA
(PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2021-I)**

En Lima, siendo las 11:00 horas del sábado 02 de octubre del 2021, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado del Trabajo de Suficiencia Profesional (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2021-I): Dra. Esther Berger Vidal (PRESIDENTA), Lic. Lucy Haydee De La Cruz Cuadros (MIEMBRO) y el Mg. José Carlos Oré Luján (MIEMBRO ASESOR), para la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional titulado: “**MODELO DE OPTIMIZACIÓN MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA BINARIA PARA LA ASIGNACIÓN DE LA CARTERA DE CLIENTES A SUPERVISORES EN UNA EMPRESA DE SANEAMIENTO AMBIENTAL**”, presentado por la señorita **Bachiller Mireya Melany Callupe Artica**, para optar el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa.

Luego de la exposición del trabajo de suficiencia, la Presidenta invitó a la expositora a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los miembros del Jurado Evaluador, la expositora mereció la aprobación SOBRESALIENTE, con un calificativo promedio de DIECISIETE.

A continuación, los miembros del Jurado dan manifiesto que la participante **Bachiller Mireya Melany Callupe Artica** ha Aprobado el Trabajo de Suficiencia Profesional.

Siendo las 11:30 horas se levantó la sesión firmando para constancia la presente Acta.

Dra. Esther Berger Vidal
PRESIDENTA

Lic. Lucy Haydee De La Cruz Cuadros
MIEMBRO

Mg. José Carlos Oré Luján
MIEMBRO ASESOR



TABLA DE CALIFICACIONES

APROBADO	{	Regular : 11, 12, 13
		Bueno : 14, 15, 16
		Sobresaliente : 17, 18
		Sobresaliente Con mención : 19, 20
DESAPROBADO	{	de : 0 a 10

NOTA: 17

Dra. Esther Berger Vidal
PRESIDENTA



TABLA DE CALIFICACIONES

APROBADO	{	Regular : 11, 12, 13
		Bueno : 14, 15, 16
		Sobresaliente : 17, 18
		Sobresaliente Con mención : 19, 20

DESAPROBADO	{	de : 0 a 10
--------------------	---	--------------------

NOTA: 16

Lic. Lucy Haydee De La Cruz Cuadros
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA

TABLA DE CALIFICACIONES

APROBADO

Regular : 11, 12, 13

Bueno : 14, 15, 16

Sobresaliente : 17, 18

**Sobresaliente
Con mención : 19, 20**

DESAPROBADO

de : 0 a 10

NOTA: 17

Mg. José Carlos Oré Luján
MIEMBRO ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS ESCUELA PROFESIONAL DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA

INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

La Directora de la Escuela Profesional de Investigación Operativa, Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino, informa lo siguiente:

1. Operador del programa informático de similitudes: Mg. Paulo César Olivares Taipe

Documento evaluado: Modelo de optimización mediante programación lineal entera binaria para la asignación de la cartera de clientes a supervisores en una empresa de saneamiento ambiental

2. Autor de la tesis: CALLUPE ARTICA MIREYA MELANY
3. Fecha de recepción de la tesis: 03 de noviembre
4. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes: 05 de noviembre
 - Software utilizado: Turnitin
5. Configuración del programa detector de similitudes:
 - Excluye textos entrecomillados
 - Excluye bibliografía
 - Excluye cadenas menores a 40 palabras
6. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes: 10%
7. Fuentes originales de las similitudes encontradas:
 - Fuentes de internet: 10%
 - Publicaciones: 3%
 - Trabajos de estudiantes: 5%
8. Calificación de originalidad:
 - El documento mencionado cumple criterios de originalidad, sin observaciones

Lima, 8 noviembre del 2021



Firmado digitalmente por
VELASQUEZ PINO Carmela
Catalina FAU 20148092282 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 07.11.2021 18:20:27 -05:00

Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino
Directora

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Narciso y Francisca, hermanos y sobrinos por su apoyo incondicional y ser fuente de motivación. Definitivamente la familia lo es todo.

Resumen

Modelo de optimización mediante programación lineal entera binaria para la asignación de la cartera de clientes a supervisores en una empresa de saneamiento ambiental

Mireya Melany Callupe Artica

Septiembre – 2021

Titulo obtenido: **Licenciada en Investigación Operativa**

El presente estudio se realiza en una empresa prestadora de servicios de saneamiento ambiental en la ciudad de Lima, la cual cuenta con más de 30 años de experiencia en el mercado. El estudio se enfoca en analizar la carga de trabajo de los supervisores de operaciones, quienes son los encargados de la atención directa a los clientes en la prestación de los servicios de control de plagas, limpieza de reservorios, trampas de grasa, entre otros. Asimismo, la principal problemática identificada es la mala distribución de la carga de trabajo entre el personal, lo que conlleva a un grado de insatisfacción laboral. Por otro lado, cabe precisar que distribución de cartera se realiza de manera manual y basado en juicios personales de los encargados; por lo cual, la finalidad del presente trabajo es brindar un modelo de optimización basado en la programación lineal entera binaria desarrollado en el software LINGO, que permita asignar la cartera de clientes a los supervisores de saneamiento maximizando la satisfacción ambas partes. Finalmente, los resultados obtenidos se presentan y se comparan con la distribución de cartera de clientes inicial, de lo que se concluye que el modelo propuesto presenta una mejor distribución de clientes.

Palabras clave: Modelo de optimización, Programación lineal entera binaria, modelo de asignación, saneamiento ambiental y LINGO.

Abstract

Optimization model using binary integer linear programming for assigning the client portfolio to supervisors in an environmental sanitation company

Mireya Melany Callupe Artica

September – 2021

Degree obtained: **Operational Research Licensed**

This study is carried out in a company that provides environmental sanitation services in the city of Lima, which has more than 30 years of experience. The study focuses on analyzing the workload of operations supervisors, who are in charge of direct customer service in the provision of pest control services, reservoir cleaning, grease traps, among others. Likewise, the main problem identified is the bad distribution of the workload among the staff, which leads to a degree of job dissatisfaction. On the other hand, it should be specified that portfolio distribution is carried out manually and based on the personal judgments; Therefore, the purpose of this work is to provide an optimization model based on binary integer linear programming developed in the LINGO software, which allows assigning the client portfolio to sanitation supervisors, maximizing satisfaction for both parties. Finally, the results obtained are presented and compared with the initial customer portfolio distribution, from which it is concluded that the proposed model presents a better customer distribution.

Keywords: Optimization model, Binary integer linear programming, allocation model, environmental sanitation and LINGO.

Índice de Contenido

I.	Introducción	1
II.	Información del Lugar Donde se Desarrolla la Actividad	3
2.1.	Institución Donde se Desarrolló la Actividad	3
2.2.	Periodo de Duración de la Actividad	3
2.3.	Finalidad y Objetivos de la Entidad	3
2.4.	Razón Social	3
2.5.	Dirección Postal.....	3
2.6.	Correo Electrónico del Profesional a Cargo.....	3
III.	Descripción de la Actividad	4
3.1.	Organización de la Actividad (Profesional a Cargo)	4
3.2.	Problemática	6
3.3.	Finalidad y Objetivos	8
3.4.	Metodología y Procedimientos.....	9
3.4.1.	<i>Antecedentes</i>	9
3.4.1.1.	Antecedentes Nacionales.....	9
3.4.1.2.	Antecedentes Internacionales.	10
3.4.2.	<i>Bases Teóricas</i>	11
3.4.2.1.	Investigación Operativa.	11
3.4.2.2.	Programación Lineal.	12
3.4.2.2.1.	<i>Contexto Histórico.</i>	12
3.4.2.2.2.	<i>Definición.</i>	12
3.4.2.2.3.	<i>Programación Lineal Entera Binaria.</i>	14
3.4.2.2.4.	<i>Métodos de Solución.</i>	16
3.4.2.2.5.	<i>Principales aplicaciones de programación lineal entera binaria</i>	17
3.4.2.3.	Conceptos de carga laboral.	19
3.4.3.	<i>Recopilación de información</i>	20
3.4.3.1.	Análisis Preliminar.	20
3.4.3.2.	Técnicas de Recolección de información.	20
3.4.3.3.	Análisis de información.....	21

3.4.4.	<i>Formulación del modelo matemático</i>	29
3.4.4.1.	Definición de las variables	29
3.4.4.2.	Definición de parámetros	30
3.4.4.3.	Definición de la función objetivo	30
3.4.4.4.	Planteamiento de las restricciones	31
3.4.4.5.	Solución en el Software LINGO	33
3.5.	Resultados	35
3.5.1.	<i>Comparación de Cantidad de Clientes</i>	36
3.5.2.	<i>Comparación de Ponderaciones</i>	37
IV.	Conclusiones	42
V.	Recomendaciones	43
VI.	Bibliografía	44
VII.	Anexos	46

I. Introducción

Actualmente el mundo está atravesando una crisis sanitaria por la pandemia COVID-19 y si bien muchos sectores económicos se han afectado por las restricciones sanitarias dispuestas por el gobierno, otros sectores asociados al sector salud han incrementado sus actividades, ya que brindan mecanismos para mitigar la propagación de los contagios. Tal es el caso de las empresas de saneamiento ambiental, las cuales en el año 2020 han incrementado sus niveles de ventas por la prestación de servicios de desinfección COVID-19.

En este contexto, el presente estudio se desarrolla en la empresa de servicios de saneamiento ambiental de la ciudad de Lima, la cual cuenta con más de 30 años en el mercado y brinda servicios de control de plagas (Desinsectación, desinfección, desratización), limpieza de reservorios de agua, limpieza de trampas de grasa y pozos sépticos. Asimismo, ésta empresa cuenta con una amplia cartera de clientes de los diversos sectores tales como: alimentos, industrial, logístico, farmacéutico, financieros, entre otros, de los cuales un 46% de los clientes de la cuenta con contratos y/o órdenes de servicio, siendo la diferencia del 54% el cual es representado por clientes nuevos o recurrentes que solicitan servicios de acuerdo a una determinada necesidad. Esta precisión es importante, ya que ésta investigación se enfoca en la asignación de la cartera de clientes fijos, debido a que se conoce las características específicas de los servicios que se brindarán en cada mes y requieren la atención directa de un personal encargado.

Por ello, la presente investigación se centrará en asignar de manera proporcional la carga de trabajo de los supervisores de saneamiento ambiental, considerando los parámetros del cliente tales como: tipo, rubro del cliente, cantidad de entregables, complejidad; así como también parámetros del personal tales como: formación y experiencia.

De lo antes expuesto, este estudio tiene como objetivo proporcionar una herramienta de asignación al área operativa, que le permita tener una distribución óptima de clientes,

maximizando el nivel de satisfacción de los supervisores y de los clientes, que será desarrollada mediante un modelo matemático de programación lineal entera binaria, la cual es muy versátil para la solución de este tipo de problemas.

Asimismo, cabe resaltar la importancia de que las organizaciones implementen herramientas de optimización similares a la que se propone, para mejorar sus procesos y realizarlos de manera más eficiente y de la misma forma puedan mejorar la satisfacción del personal.

Respecto al contenido, en el segundo capítulo se describe la información de la empresa en el que se desarrolla el presente estudio. Posterior a ello, en el tercer capítulo se describe el problema que abarca la presente investigación, asimismo se define la finalidad y además se desarrolla la metodología y procedimientos utilizados, en el cual se detalla el fundamento teórico que sirve como base para el desarrollo del modelo de optimización, así como los resultados obtenidos de la aplicación del modelo matemático y éstos a su vez son comparados con los resultados de la situación actual.

Por otro lado, en el cuarto capítulo se mencionan las conclusiones de la investigación y en el quinto capítulo se brindan las recomendaciones para la aplicación y futuros trabajos.

Finalmente, en el sexto capítulo se detalla la bibliografía utilizada para el desarrollo de la investigación y en los anexos se muestran los formatos desarrollados para la investigación.

II. Información del Lugar Donde se Desarrolla la Actividad

2.1. Institución Donde se Desarrolló la Actividad

La entidad en la que se desarrolla el presente estudio es una empresa de Saneamiento ambiental ubicada en la ciudad de Lima.

2.2. Periodo de Duración de la Actividad

El periodo es de 2019 al 2021

2.3. Finalidad y Objetivos de la Entidad

La empresa de saneamiento ambiental tiene como principal misión el contribuir con la preservación del medio ambiente y mejorar las condiciones de salubridad de sus clientes.

2.4. Razón Social

Por cuestión de confidencialidad empresarial esta información es reservada.

2.5. Dirección Postal

Lima - Perú

2.6. Correo Electrónico del Profesional a Cargo

Por cuestión de confidencialidad empresarial esta información es reservada.

III. Descripción de la Actividad

3.1. Organización de la Actividad (Profesional a Cargo)

La empresa de saneamiento ambiental donde se realiza el estudio cuenta con más de 30 años en el mercado brindando servicios especializados de control de plagas tales como desinfección, desinsectación, desratización, control de equipos de luz UV, limpieza de reservorios, limpieza de trampas de grasa y pozos sépticos.

Organizacionalmente está compuesta de dos pilares fundamentales, el primer pilar es el área comercial quien es la encargada de la gestión de ventas de los servicios que va desde la prospección, captación, atención de cotización, el cierre de la venta y comunicación postventa, es decir, es el primer nexo con el cliente y encargado de realizar el seguimiento de la atención del mismo.

Por otro lado, el segundo pilar es el área de operaciones quien es el encargado de brindar el soporte técnico y operativo para satisfacer la necesidad de cada cliente. Es decir, esta área se encarga realizar todas las coordinaciones internas con las áreas de apoyo tales como: mantenimiento, recursos humanos y logística, para la atención de los servicios, asegurando la disponibilidad de todos los recursos tales como: mano de obra, materiales, productos, máquinas y movilidades.

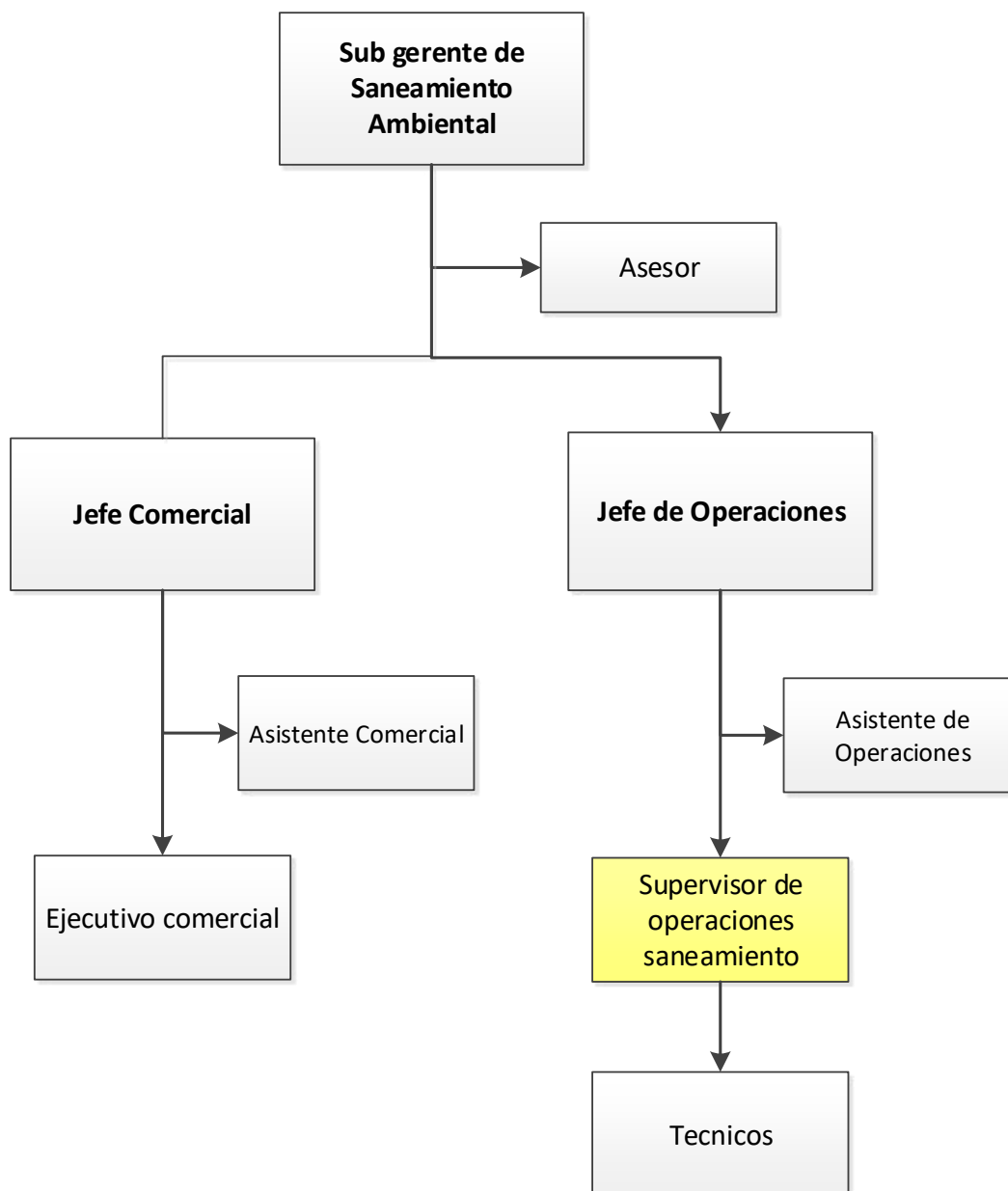
El presente trabajo se centra en el análisis de la distribución de la carga laboral de los supervisores de saneamiento ambiental, quienes son los encargados directos de la supervisión y gestión de los servicios. Cabe precisar que, ellos son profesionales principalmente de las siguientes carreras: Ing. de alimentos, Biólogos, Ing. industriales, entre otros.

Para mayor detalle de la estructura organizacional en la siguiente figura se muestra el organigrama de la unidad de negocio de saneamiento ambiental de la empresa, donde se resalta la posición de los supervisores de saneamiento y también se mencionan los diversos puestos de

trabajo que son el soporte de técnico que requiere una empresa especializada en este tipo de servicios.

Figura 1

Organigrama del área de Saneamiento Ambiental



Nota. En el gráfico se resalta el puesto que es objeto del presente estudio.

Por otro lado, la empresa cuenta con una cartera de aproximadamente 250 clientes de diversos sectores tales como: industrial, retail, almacenes, bancos, entre otros, los cuales cuentan con sedes tanto en Lima como en provincia.

También es importante mencionar que los clientes son clasificados de acuerdo al tipo de servicio que requiere cada uno, tal como es detallado a continuación:

- Clientes MIP (Programas integrados de manejo y control de plagas): Se denominan así a los servicios que cuentan con un plan de control de plagas y que tienen una frecuencia determinada que va acorde a las condiciones sanitarias y ambientales, considerando en la zona circundante en la que se ubica cada cliente. Por lo general, la empresa realiza este compromiso mediante un contrato y/o órdenes de servicio, generando de esa manera una alianza estratégica entre cliente proveedor y garantizando la atención especializada de los servicios requeridos.
- Clientes frecuentes: Se denomina así a los clientes que solicitan los servicios de manera frecuente en periodos que por lo general son trimestrales o semestrales, ya que por el cumplimiento de alguna norma o ley requieren de un certificado de saneamiento ambiental para operar en sus sectores industriales. Y también son los clientes que en un determinado momento requieren de la atención de un servicio por presencia de algún tipo de plaga.

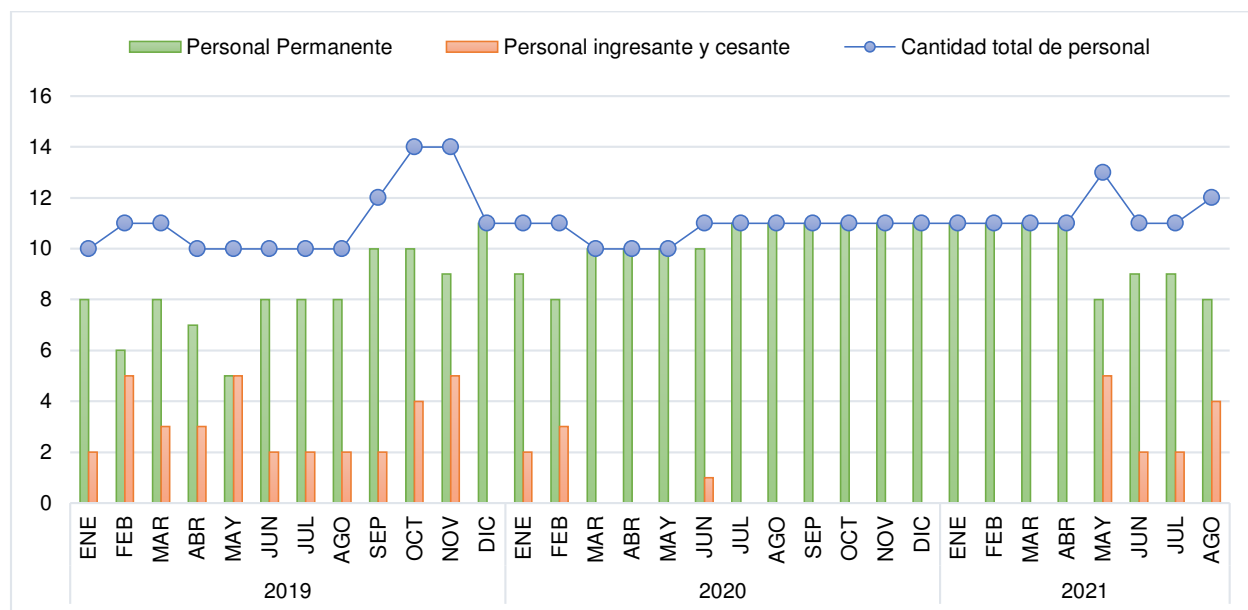
3.2. Problemática

La problemática identificada en la empresa de saneamiento ambiental es que un factor de la rotación del personal es la inadecuada distribución de la carga de trabajo, ya que ésta se realiza de manera manual y basado en juicios personales de los encargados, ocasionando así un ambiente de trabajo no adecuado y un malestar general entre los supervisores.

En la siguiente figura se muestra el histórico del nivel de rotación de personal de los últimos 3 años:

Figura 2

Cantidad de supervisores de operaciones permanentes y rotativos por mes



Del gráfico anterior se observa que en el año 2019 se presentó un alto nivel de ingreso y cese de personal en la mayoría de meses, mientras que en el periodo de marzo de 2020 al mes de abril de 2021 el personal de mantuvo estable y solo se presentó un ingreso en el mes de junio por el incremento de la cantidad de demanda de servicios, asimismo este comportamiento se debe al inicio del estado de emergencia sanitaria decretado por el Gobierno por la pandemia y también por la incertidumbre política, social y económica. Finalmente, se observa en que en el 2do cuatrimestre del 2021 se ha vuelto a incrementar los ingresos y salidas del personal. Cabe precisar que de acuerdo a los resultados de la encuesta de salida realizada al personal cesante el 37% de ceses tiene como principal motivo el factor de carga laboral elevada, mientras que el porcentaje restante corresponde a renuncias voluntarias por crecimiento profesional, no renovaciones de contrato, entre otros motivos.

Por otro lado, es importante indicar que la rotación de personal impacta económicamente a la empresa, ya que por un lado se tiene el proceso de selección el cual implica un costo por el tiempo que se invierte desde la convocatoria hasta la firma de contrato que también incluye los

exámenes médicos de ingreso y por otro lado el tiempo de periodo de aprendizaje del personal contratado. La sumatoria de todos estos costos es un monto significativo si se multiplican por la cantidad total de ingresos de cada año.

Por lo que el presente estudio pretende mejorar esta situación y se busque un equilibrio de las carga laboral del personal que vaya acorde a sus competencias, mediante una herramienta de asignación de clientes a supervisores, basado en un modelo de programación lineal entera binaria que considere parámetros cuantitativos y tablas de ponderación para las principales características a evaluar tales como: cantidad de sedes, tipos y cantidad de entregables por cliente, cantidad de documentación a presentar, si requiere supervisión de campo, afinidad de profesiones de acuerdo al rubro del cliente, entre otras consideraciones.

Por lo antes expuesto, se plantea:

Problema General:

¿De qué manera la implementación de un modelo de optimización basado en programación lineal entera binaria podría optimizar la asignación de la cartera de clientes a supervisores en una empresa de servicios de saneamiento ambiental?

Problemas Específicos:

¿De qué manera la implementación de un modelo de optimización basado en programación lineal entera binaria podría incrementar el grado de satisfacción de los supervisores en una empresa de servicios de saneamiento ambiental?

¿De qué manera la implementación de un modelo de optimización basado en programación lineal entera binaria podría reducir el tiempo de planificación de la asignación de la cartera de clientes a supervisores en una empresa de servicios de saneamiento ambiental?

3.3. Finalidad y Objetivos

Objetivo General

Diseñar un modelo de optimización basado en programación lineal entera binaria con la finalidad de optimizar la asignación de la cartera de clientes a supervisores en una empresa de servicios de saneamiento ambiental.

Objetivos Específicos

Incrementar el grado de satisfacción de los supervisores de una empresa prestadora de servicios de saneamiento ambiental.

Reducir el tiempo de planificación de la asignación de cartera de clientes a supervisores en una empresa de servicios de saneamiento ambiental.

3.4. Metodología y Procedimientos

3.4.1. Antecedentes

3.4.1.1. Antecedentes Nacionales.

HIROTA Darmont, Luz Marina y PINO Cárdenas, Anylo (2018) desarrollaron una tesis optar el grado académico de Magister en dirección estratégica del factor humano, titulada: "Metodología para diagnosticar el equilibrio entre la carga laboral y el desempeño" en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), cuya investigación busca diagnosticar la relación que existe entre la carga laboral y el desempeño de los trabajadores del nivel operativo de la Dirección General de Administración de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, para ello revisan varios conceptos teóricos y realiza el estudio es una muestra de operarios aplicando un instrumento para la medición de carga laboral y analizan la data recopilada. De lo que concluyeron que la metodología desarrollada lograba diagnosticar un desequilibrio en la carga laboral y determinar la relación existente entre dicha carga laboral y el desempeño de los colaboradores que fueron encuestados.

3.4.1.2. Antecedentes Internacionales.

CARRERO Hernández, Jayce y ALBARRACIN Alvarez, Ruben Dario (2013) desarrollaron un trabajo de grado en modalidad de práctica empresarial para optar el grado de Ingeniero Industrial, titulada: “Asignación de la carga laboral para los empleados del grupo de aseo en áreas internas de la Universidad Industrial de Santander Campus Central”, en la Universidad Industrial de Santander, cuya investigación busca analizar y asignar la carga laboral de los empleados del Grupo de Servicios varios de la división de planta física del Campus Central de la Universidad de Santander mediante un modelo matemático desarrollado en el software GAMS, asimismo, de los resultados obtenidos el investigador recomienda que se puede extender su trabajo a otros ámbitos de estudio como por ejemplo en la facultad de Salud donde se presentan condiciones similares.

ACUÑA Parada, Saray, MADIEDO Bautista, Esteban y ORTIZ Pimiento, Néstor (2013) desarrollaron y publicaron en la revista Ingeniería y Universidad de la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia un artículo titulado: “Modelo de programación lineal binaria para el balance de carga de trabajo en el problema de asignación de proyectos”, en la que proponen un modelo matemático para realizar la asignación de proyectos a empleados con el objetivo de que se equilibre la carga de trabajo, se eviten los problemas de insatisfacción y bajo desempeño. Con el modelo de programación lineal entera binaria proponían buscar el equilibrio de la carga total de trabajo, minimizando la sumatoria de los cuadrados de las diferencias entre las cargas individuales y la carga promedio. Usaron el Sistema General de Modelaje Algebraico (GAMS) y lo compararon con otro modelo propuesto por otro autor. De los resultados que obtuvieron el modelo que propusieron en el artículo distribuía de mejor manera la carga de trabajo entre los empleados, es decir, lograron un mejor valor de la función objetivo, que el modelo existente de otro autor. Finalmente, recomendaron que el modelo que proponían se podría aplicar en aquellas organizaciones en las cuales su modelo de negocios era vender o ejecutar proyectos.

3.4.2. Bases Teóricas

3.4.2.1. Investigación Operativa.

Taha (2012) precisa que: “Las primeras actividades formales de investigación de operaciones (IO) se iniciaron en Inglaterra durante la Segunda Guerra Mundial, cuando un equipo de científicos empezó a tomar decisiones con respecto a la mejor utilización del material bélico. Al término de la guerra, las ideas formuladas en operaciones militares se adaptaron para mejorar la eficiencia y productividad en el sector civil.” (p. 1).

Winston (2005) afirma que: “La investigación de operaciones es simplemente un enfoque científico en la toma de decisiones que busca el mejor diseño y operar un sistema, por lo regular en condiciones que requieren la asignación de recursos escasos” (p. 1).

Por otro lado, Serra (1999) indica que: “La investigación operativa ha tenido un impacto impresionante en la mejora de la eficiencia de numerosas organizaciones en todo el mundo. Existen inúmeras aplicaciones con éxito en todos los campos en donde la toma de decisiones es compleja y que pueden implicar para la organización grandes inversiones o cambios en la organización que determinen su futuro.” (p. 14)

Por lo que se puede resumir que la Investigación de operaciones es una rama interdisciplinaria de la matemática aplicada que utiliza métodos tales como modelos matemáticos para buscar soluciones óptimas para problemas complejos con el objetivo de maximizar ganancias, rendimiento, productividad, etc. o minimizar la pérdida, el riesgo, etc. todo esto en un contexto donde los recursos son limitados.

3.4.2.2. Programación Lineal.

3.4.2.2.1. Contexto Histórico.

Moya (1998) menciona que fue George B. Dantzig y otro grupo de personas que, en el año 1947, atendiendo los requerimientos de las autoridades militares de los Estados Unidos, se propusieron investigar el cómo se podría aplicar las matemáticas y también la estadística para resolver problemas de planeamiento y programación con fines militares y es en ese mismo año que George B. Dantzig y sus colaboradores diseñan por primera vez la estructura matemática básica de un problema de programación lineal. (p. 63)

Según Anderson et al. (2011), en el año 1948 Tjalling Koopmans le comentó a Dantzig que el nombre de “programación en una estructura lineal” como se conocía inicialmente era bastante extenso y que era conveniente modificarlo, por lo que George B. Dantzig aceptó y el nombre fue sustituido por el “Programación Lineal”, el cual es usado incluso en la actualidad. (p. 236)

Es por ello que el desarrollo de la Programación Lineal es considerado entre los avances científicos más trascendentales de mediados del siglo XX y actualmente es un instrumento que ha ahorrado millones de dólares a muchas organizaciones públicas y privadas en muchos países del mundo.

3.4.2.2.2. Definición.

La programación lineal surge según Lomba, P. (1964) cuando dos o más candidatos o actividades compiten por recursos limitados y cuando se puede suponer que todas las relaciones dentro del problema son lineales. (p. 1).

Asimismo, Anderson et al. (2011), definen la programación lineal como: “Un método de solución de problemas desarrollado para situaciones que involucran la maximización o

minimización de una función lineal sujeta a restricciones lineales que limitan el grado al cual se puede intentar lograr el objetivo.” (p. 16)

Por otro lado, según Winston (2005), la Programación Lineal es una herramienta usada para la resolución de problemas de optimización, con aplicación en diferentes tipos de industrias. (p. 49)

Por lo que se puede concluir que la programación lineal consiste en optimizar (minimizar o maximizar) una función lineal, la cual se denomina función objetivo de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones que se expresa mediante un sistema de inecuaciones lineales.

Asimismo, la programación lineal tiene el objetivo de construir modelos para resolver una amplia variedad de problemas de decisión; siendo muy aplicados en el sector salud, la industria, la economía, la ingeniería, entre otros rubros.

Un problema de Programación lineal por lo general se compone de la siguiente manera:

Variables: Son valores reales que son mayores o iguales a cero, generalmente se representan con letras y subíndices.

Función Objetivo: Según el criterio de optimización puede ser:

$$\mathbf{maximizar } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

ó

$$\mathbf{minimizar } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Restricciones: Las restricciones pueden ser de la siguiente manera:

$$\mathbf{a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1}$$

$$\mathbf{a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2}$$

$$\mathbf{\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots}$$

$$\mathbf{a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m}$$

Los tres tipos de restricciones pueden darse simultáneamente en el mismo problema.

Y las restricciones de no negatividad,

$$x_j \geq 0; j = 1, 2, \dots, n$$

Los coeficientes de las ecuaciones anteriores a_{ij}, b_i, c_j , son valores conocidos y el problema consiste en hallar los valores de las variables de decisión x_j que deben cumplir con las restricciones del modelo y optimizar la función objetivo.

Finalmente, el modelo de programación lineal se puede expresar en su forma compacta de la siguiente manera:

$$\max \text{ o } \min z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

s. a.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i$$

$$x_j \geq 0$$

donde:

n : Cantidad de Variables

m : Cantidad de Restricciones

3.4.2.2.3. Programación Lineal Entera Binaria.

Es un problema de programación lineal entera, en la cual todas sus variables de decisión deben tomar únicamente valores de 0 ó 1.

Una de las contribuciones de la programación lineal entera binaria es la adaptabilidad del modelado debido al uso de variables de tipo 0 ó 1.

Un problema de programación lineal entera binaria por lo general se compone de la siguiente manera:

Variables: Representan las decisiones que se pueden tomar para afectar el valor de la función objetivo.

$$x_i \begin{cases} 1, & \text{Si se asigna el recurso } i \text{ a la tarea} \\ 0, & \text{no se asigna ninguna tarea} \end{cases}$$

Función Objetivo: Según el criterio de optimización puede ser:

$$\mathbf{max\ } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

ó

$$\mathbf{min\ } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Restricciones: Las restricciones pueden ser de la siguiente manera:

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1$$

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1$$

Y las restricciones de no negatividad,

$$x_i \geq 0; i = 1, 2, \dots, n$$

Finalmente, el modelo de programación lineal entera binaria se expresa de la siguiente manera:

$$\mathbf{max\ o\ min\ } z = \sum_{i=1}^n c_i x_i$$

s. a.

$$\sum_{i=1}^m x_i = 1$$

$$x_j \geq 0$$

donde:

n: Cantidad de Variables

m: Cantidad de Restricciones

3.4.2.2.4. Métodos de Solución.

Según Taha (2012) los métodos de resolución a problemas de Programación Lineal entera son los que se detallan a continuación:

Método de ramificación y acotación (Branch and Bound): que puede ser aplicado tanto a problemas de programación lineales enteros puros como mixtos. Este método se fundamenta en dos procesos: acotar y ramificar, los cuales fueron diseñados con la finalidad de hallar la solución entera óptima dentro del conjunto de soluciones factibles de un problema. Para el proceso de ramificación, se incluye las restricciones que están diseñadas para excluir una parte de la región factible que no incluya soluciones enteras, creando subproblemas, de tal manera que todas las soluciones enteras del problema inicial, se encuentren incluidas en la unión de las regiones factibles de los subproblemas que se generaron. Este proceso se repite y dejara de ramificarse, cuando la solución óptima sea entera, no sea factible o bien no se pueda ramificar en más problemas. Por otro lado, el proceso de acotación ayuda a reducir la generación de subproblemas, ya que consiste en fijar como cota superior (en problemas de minimización) o inferior (en problemas de maximización), el valor mejorado de la función objetivo en las soluciones enteras obtenidas hasta ese momento y a partir de esta cota se eliminan todos aquellos subproblemas cuyo valor de la función sea mayor que la cota dad en un problema de

minimización o menor que la cota dada en un problema de maximización. En caso contrario se debe fijar en ese mejor valor una cota nueva.

Método de plano de corte: El algoritmo de plano de corte inicia en la solución óptima continua y tienen la finalidad de lograr mediante la incorporación de nuevas restricciones o planos de corte que las variables de decisión óptimas sean enteras. Estas nuevas restricciones, limitan el conjunto factible del problema continuo sin eliminar ninguna solución entera posible. La resolución de los sucesivos los problemas de programación lineal generados de acuerdo a como se van agregando los cortes es realizado mediante el algoritmo del Método Simplex y la estructura de los cortes va a garantizar que la solución converja a la solución del problema de programación lineal entera. A continuación, se detallan los pasos:

1. Solución del problema de programación lineal continuo asociado

2. Si la solución óptima obtenida del paso 1 es entera, ésta sería la solución del problema entero. En caso contrario se tiene que elegir una de las variables de decisión la cual debería ser entera y a partir de ésta se realiza plano de corte.

3. Después de añadir el plano de corte, se vuelve a resolver el problema de programación lineal. Si la solución óptima obtenida aún no es entera, se debe repetir los pasos anteriores hasta que las variables sean enteras. Sin embargo, si las variables de decisión resultantes ya son enteras, se detiene el proceso ya que se ha conseguido la solución del problema.

3.4.2.2.5. Principales aplicaciones de programación lineal entera binaria

De acuerdo a Hillier (2010) la programación lineal entera binaria es utilizada en problemas de asignación o de toma de decisiones enfocadas a hacer o no una tarea y entre su campo de aplicación se tiene los siguientes:

- Formulación de presupuestos de inversiones: En esta aplicación una compañía dispone de una cantidad de dinero X para invertir en N proyectos, como no puede invertir en todos los proyectos, requiere determinar en qué proyectos invertir de tal manera que maximice su utilidad.
- Problemas de scheduling (planificación de turnos): Esta aplicación tiene como objetivo utilizar la mano de obra lo más eficientemente posible, para ello es importante analizar los requerimientos de personal durante las diversas franjas horarias del día. Esta se presenta por lo general en las grandes organizaciones de servicios, donde la demanda de los clientes tiene un comportamiento similar en un periodo semanal o mensual, pero que cambia de manera significativa según las horas de atención.
- Elección de un sitio para localización de una planta: esta aplicación consiste en determinar si se selecciona o no un lugar para establecer una nueva instalación con el objetivo de minimizar el costo total de la implementación o maximizar el beneficio de establecer una sede en esa ubicación.
- El despacho de envíos: Consiste en programar los envíos considerando la ruta, el tipo de vehículo y el horario de salida con el objetivo de elegir las rutas que minimizan el costo total de los envíos.
- El diseño de una red de producción y distribución: esta aplicación consiste en elegir la localización de una serie de plantas de producción y centro de distribución entre un conjunto dado de posibles localizaciones, teniendo en cuenta las necesidades de los consumidores y optimizando algún criterio económico, con la finalidad de estructurar de toda la cadena de abastecimiento, que abarca desde los proveedores, las plantas, los centros de distribución, los sitios potenciales y áreas de mercado.
- Programación de actividades interrelacionadas: consiste en establecer cuándo una actividad en particular puede iniciar en un determinado momento después de haber

concluido otra, su campo de aplicación se da por ejemplo cuando se requiere realizar un plan de inversión con fechas establecidas en un periodo de tiempo, fechas de lanzamiento de productos, entre otros.

- Problema de la asignación de la flota: Consiste asignar un tipo específico de avión o vehículo a cada tipo de ruta, de tal forma que se maximice el ingreso total si se cumple con lo programado.

3.4.2.3. Conceptos de carga laboral.

La carga laboral se define como la cantidad de actividad que puede ser asignada a una parte o elemento de una cadena productiva sin entorpecer el desarrollo total de las operaciones. Es decir, son una serie de requerimientos físicos, mentales y emocionales a los que se ve sometido un trabajador a lo largo de su jornada laboral.

Por otro lado, cuando existe un exceso de carga de trabajo se da origen a la sobrecarga laboral que se puede dar por los siguientes motivos: falta de organización en la empresa, errores en la gestión de manejo del tiempo, poca o nula comunicación efectiva entre el personal, tareas innecesarias o demasiado complejas.

Por otro lado, las principales consecuencias de la sobrecarga laboral son las siguientes:

- Deserción laboral
- Aumento de estrés en los colaboradores
- Incremento de costos laborales para la empresa
- Empleados que generan conflictos
- No cumplimiento en las tareas

Asimismo, muchos autores recomiendan tomar las siguientes medidas para mitigarlas y que se cuente con equipos más productivos.

- Organizar las actividades
- Delegar y distribuir funciones
- Horas efectivas de trabajo
- Establecer metas que se puedan realizar
- Contar con herramientas adecuadas para el manejo de los datos y los procesos.
- Evitar las distracciones
- Cumplir con los cronogramas propuestos

3.4.3. Recopilación de información

3.4.3.1. Análisis Preliminar.

Actualmente la empresa cuenta con una distribución de la cartera de clientes a supervisores que fue elaborada a base de los juicios personales de los líderes del área y ésta nos servirá como base para ser comparada con la distribución obtenida del modelo de optimización, es decir se analizará cada característica en ambas distribuciones y se evaluará su eficacia.

3.4.3.2. Técnicas de Recolección de información.

En esta etapa se realizó la entrevista a la Subgerencia de saneamiento ambiental para la toma de datos en un cuestionario según las ponderaciones consideradas para el modelo de optimización y también se recolectaron de los tiempos de la elaboración de documentación pre y post de cada cliente.

A continuación, se detallan las técnicas de recolección que se utilizaron:

- Reporte informático del sistema de la empresa
- Cuestionario de la entrevista
- Ficha de toma de tiempos
- Cuestionarios de medición de ponderaciones

3.4.3.3. Análisis de información.

En base a la información recopilada se analizaron las principales características que se considerarán en el modelo y a continuación se detalla cada una:

3.4.3.3.1. Codificación

Por temas de confidencialidad se codificarán los clientes según la nomenclatura detallada a continuación:

Tabla 1

Codificación de Clientes

Ítem	Código Cliente
1	CL1
2	CL2
3	CL3
...	...
112	CL112
113	CL113
114	CL114
Total	114

Por otro lado, al personal se denominó de la siguiente manera:

Tabla 2

Codificación de supervisores

Ítem	Código Supervisor
1	S1
2	S2
3	S3
4	S4
5	S5
6	S6

7	S7
8	S8
9	S9
10	S10
Total	10

3.4.3.3.2. Ponderación de cantidad de órdenes de trabajo

Para esta ponderación se realizó un análisis de los datos de un reporte del sistema ERP de la empresa de saneamiento ambiental, de donde se contabilizaron la cantidad de órdenes de trabajo generadas por mes correspondientes a los servicios contratados por cada cliente, éstas cantidades fueron clasificadas de acuerdo a las escalas detalladas a continuación.

Tabla 3

Escalas de ponderación de acuerdo a la cantidad de órdenes de trabajo al mes por cliente

Desde	Hasta	Ponderación
1	20	1
21	41	2
42	62	3
63	83	4
84	104	5
105	125	6
126	166	7
167	207	8
208	248	9
249	300	10

Por otro lado, para esta ponderación se ha considerado una sumatoria total mínima por supervisor de 15, la cual debe ser fijada como cota inferior para la restricción del modelo, de tal manera que se garantice este requerimiento mínimo.

3.4.3.3.3. Ponderación de dificultad del cliente

Para esta ponderación se realizó el cuestionario a la subgerencia de saneamiento ambiental (Ver Anexo N° 01), donde calificó el nivel de dificultad de cada cliente teniendo en cuenta las características de cada uno tales como: tipo de industria, nivel de especialización que requiere el servicio brindado, años de experiencia en el rubro, nivel de coordinación que requiere por los requisitos propios del cliente, entre otros.

Tabla 4

Escalas de ponderación del nivel de dificultad de cada cliente

Nivel	Ponderación
Fácil	1
	2
	3
	4
Medio	5
	6
	7
	8
	9
Difícil	10

Para esta ponderación se considera un nivel mínimo total de dificultad por supervisor de 37 y también se ha establecido un nivel de dificultad máxima por cada supervisor, asimismo, se ha considerado asignar un nivel máximo menor al personal nuevo que tiene menos de 3 meses en la empresa y que están codificados como S8, S9 y S10; debido a que no cuentan con mucha experiencia para la gestión de clientes, en la siguiente tabla se muestra el nivel máximo asignado a cada supervisor.

Tabla 5

Nivel de dificultad máxima por cada supervisor

Código Supervisor	Total de dificultad máxima
S1	65
S2	65
S3	63
S4	63
S5	63
S6	63
S7	63
S8	45
S9	45
S10	45

3.4.3.3.4. Ponderación de horas de elaboración de informes

Para esta ponderación se realizó un análisis donde se identificaron los tipos de informes que requiere cada cliente, entre los principales se puede mencionar los siguientes: Informe de control de roedores, informe de control de insectos, informe general de saneamiento ambiental. Posterior a ello, se tomó una muestra de cada tipo de cliente y se tomaron los tiempos de elaboración de cada tipo de informe según la ficha de toma de tiempos (Ver Anexo N°02).

Por otro lado, se ha establecido un nivel de horas disponibles por supervisor considerando que según el procedimiento de la empresa se tiene como plazo máximo de entrega de informes de 5 días hábiles, lo cual representaría un total de 30 horas por mes como máximo, para fines del modelo se ha ajustado esta cantidad a 28 horas en algunos casos y los dos primeros con 26 horas teniendo en cuenta que tienen otra actividad programada para la primera semana de cada mes.

Tabla 6

Cantidad de horas máximas para elaboración de informes mensuales

Código Supervisor	Horas disponibles para informes
S1	26
S2	26
S3	28
S4	28
S5	28
S6	28
S7	28
S8	28
S9	28
S10	28

3.4.3.3.5. Ponderación de tiempos de coordinación

Para esta ponderación se realizó un análisis de los datos de la toma de tiempos estimadas que demanda las coordinaciones para cada cliente considerando los correos emitidos para coordinaciones de servicios. Siendo la unidad de medida de esta ponderación en horas y clasificada con la siguiente tabla.

Tabla 7

Escalas de ponderación del nivel de coordinación que requiere cada cliente.

Desde	Hasta	Ponderación
0	3	1
4	7	2
8	11	3
12	15	4
16	19	5

20	23	6
24	27	7
28	31	8
32	35	9
36	39	10
40	43	11
44	47	12
48	51	13
52	55	14
56	59	15
60	63	16
64	67	17
68	71	18
72	75	19
76	79	20

3.4.3.3.6. Ponderación de días de supervisión

Para esta ponderación se realizó la revisión de los contratos y cotizaciones de los clientes, específicamente propuesta técnica en las cuales se detalla el alcance del servicio y con base en esta información se determinó la cantidad de días de supervisión que requiere cada cliente al mes. Este formato se puede apreciar en el Anexo N° 03.

Asimismo, para el modelo se ha establecido el límite máximo de 14 días de supervisión por cada supervisor de operaciones, ya que por procedimiento de la compañía se tiene establecido que la segunda, tercera y parte de la cuarta semana de cada mes se deben programar las visitas a los clientes.

3.4.3.3.7. Lista de clientes fijados a supervisores

Esta matriz se desarrolló en base a los datos tomados de la entrevista (Ver Anexo N° 04), donde se precisa que ciertos clientes deben ser gestionados específicamente por ciertos supervisores, esta condición se da porque los clientes se encuentran fidelizados y ya cuentan con un plan de trabajo establecido y el realizar un cambio produciría una disconformidad y/o reclamo del cliente, adicional ello, también se tiene en cuenta el nivel de experiencia que requieren algunos clientes por el tipo de servicio que se le brinda. A continuación, se muestra la tabla resumen donde se tienen 14 clientes fijados a supervisores de operaciones a considerar en el modelo.

Tabla 8

Matriz de clientes fijados a supervisores

Cliente/Supervisor	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
CL2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CL3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CL31	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CL35	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CL49	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CL60	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
CL66	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CL85	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CL89	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CL91	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CL95	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CL101	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CL102	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
CL107	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

3.4.3.3.8. Matriz de preferencias y grados de dificultad

Esta matriz se desarrolló en base a los datos tomados de la entrevista (Ver Anexo N° 04), donde se evaluó la experiencia laboral y profesional de cada supervisor de operaciones respecto a cada cliente asignándoles un peso en la escala del 1 al 10.

Tabla 9

Escalas de nivel de dificultad y/o esfuerzo que demanda la atención del cliente al supervisor

Nivel	Ponderación
Bajo	1
	2
	3
	4
Medio	5
	6
	7
	8
	9
Alto	10

Cabe mencionar que para el modelo se ha considerado la penalización con un valor de 1000 al supervisor S6 para todos los clientes que requiere la supervisión en campo, ya que este personal por motivos de una condición médica se encuentra realizando solo trabajo remoto. Por lo que ésta matriz también es de utilidad para evitar la asignación de algún supervisor a un determinado cliente por un algún motivo en particular.

3.4.3.3.9. Consideraciones adicionales

En el cuestionario de la entrevista también se consideró la toma de datos de la cantidad mínima y máxima de clientes a ser atendidos por cada supervisor el cual se detalla a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 10

Cantidad mínima y máxima de clientes a asignar por supervisor

Código Supervisor	Cantidad Mínima de clientes	Cantidad máxima de clientes
S1	7	15
S2	7	15
S3	7	15
S4	8	20
S5	8	20
S6	8	20
S7	8	20
S8	8	20
S9	8	20
S10	8	20

3.4.4. Formulación del modelo matemático

A partir de los datos recolectados se procede a formular el modelo de programación lineal entera binaria definiendo las variables, parámetros, función objetivo y restricciones como se detallan a continuación.

3.4.4.1. Definición de las variables

La variable de decisión del presente trabajo es del tipo binaria y se define de la siguiente manera:

$$x_{ij} \begin{cases} 1, & \text{Si se asigna el cliente } i \text{ al supervisor } j \\ 0, & \text{Caso contrario} \end{cases}$$

Donde: i: Índice para clientes, $i = 1, \dots, 114$

j: Índice para supervisores, $j = 1, \dots, 10$

3.4.4.2. Definición de parámetros

Sean los siguientes parámetros:

Cliente_i: Vector de asignación del cliente *i*

PesoOT_i: Ponderación de la cantidad de ordenes de trabajo que requiere el cliente *i*

PesoDIF_i: Ponderación de la dificultad del cliente *i*

PesoINF_i: Ponderación de la cantidad de informes que requiere el cliente *i*

PesoCOOR_i: Ponderación del nivel de coordinación que requiere el cliente *i*

PesoSUP_i: Ponderación de la cantidad de días de supervisión que requiere el cliente *i*

TotalPOND_k: Valor limite para cada ponderación *k*

PREF_{ij}: Matriz de ponderaciones de preferencias del cliente *i* al supervisor *j*

Fijos_{ij}: Matriz de preferencias fijadas del cliente *i* al supervisor *j*

MaxSUP_j: Cantidad máxima de clientes que puede gestionar el supervisor *j*

MinSUP_j: Cantidad mínima de clientes que puede gestionar el supervisor *j*

Horas_j: Horas disponibles para elaboración de informes del supervisor *j*

MaxDIF_j: Ponderación de dificultad maxima acumulada para el supervisor *j*

$$\forall i = 1, 2, \dots, 114$$

$$\forall j = 1, \dots, 10$$

$$\forall k = 1, \dots, 5$$

3.4.4.3. Definición de la función objetivo

Para el modelo se considera que la carga total de trabajo esta equilibrada si se minimiza la sumatoria de la asignación de las ponderaciones de la cantidad de órdenes de trabajo,

dificultad del cliente, las horas de elaboración de informes, los tiempos de coordinaciones, cantidad de días de supervisión y la matriz de preferencias como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned}
 \text{Minimizar } z = & \sum_{i=1}^{114} \sum_{j=1}^{10} \text{PesoOT}_i * x_{ij} + \sum_{i=1}^{114} \sum_{j=1}^{10} \text{PesoDIF}_i * x_{ij} + \sum_{i=1}^{114} \sum_{j=1}^{10} \text{PesoINF}_i * x_{ij} \\
 & + \sum_{i=1}^{114} \sum_{j=1}^{10} \text{PesoCOOR}_i * x_{ij} + \sum_{i=1}^{114} \sum_{j=1}^{10} \text{PesoSUP}_i * x_{ij} \\
 & + \sum_{i=1}^{114} \sum_{j=1}^{10} \text{PREF}_{ij} * x_{ij} \tag{1}
 \end{aligned}$$

3.4.4.4. Planteamiento de las restricciones

A continuación, se detallan las restricciones consideradas para el modelo:

1. Las restricciones buscan restringir y garantizar que cada cliente debe tener asignado un supervisor.

$$\sum_{j=1}^{10} x_{ij} = \text{Cliente}_i \quad \forall i = 1, \dots, 114 \tag{2}$$

2. Restricciones de no superar la cantidad máxima de clientes asignados de cada supervisor j.

$$\sum_{i=1}^{114} x_{ij} \leq \text{MaxSUP}_j \quad \forall j = 1, \dots, 10 \tag{3}$$

3. Restricciones de cumplir con la cantidad mínima de clientes asignados de cada supervisor j.

$$\sum_{i=1}^{114} x_{ij} \geq \text{MinSUP}_j \quad \forall j = 1, \dots, 10 \tag{4}$$

4. Las restricciones hacen cumplir que los clientes que han sido fijados a supervisores se mantenga en la solución óptima.

$$\sum_{j=1}^{10} Fijados_{ij} = x_{ij} \quad \forall i = 1, \dots, 114 \quad (5)$$

5. Restricción de balance de la ponderación mínima de cantidad de órdenes de trabajo por cada supervisor.

$$\sum_{i=1}^{114} PesoOT_i * x_{ij} \geq TotalPOND_1 \quad \forall j = 1, \dots, 10 \quad (6)$$

6. Restricción de balance de la ponderación mínima de la dificultad por cada supervisor.

$$\sum_{i=1}^{114} PesoDIF_i * x_{ij} \geq TotalPOND_2 \quad \forall j = 1, \dots, 10 \quad (7)$$

7. Restricción de balance de la ponderación máxima de la dificultad acumulada por cada supervisor.

$$\sum_{i=1}^{114} PesoDIF_i * x_{ij} \leq MaxDIF_j \quad \forall j = 1, \dots, 10 \quad (8)$$

8. Restricción de balance de la ponderación mínima de horas en tiempos en elaboración de informes por supervisor.

$$\sum_{i=1}^{114} PesoINF_i * x_{ij} \geq TotalPOND_3 \quad \forall j = 1, \dots, 10 \quad (9)$$

9. Restricción de horas disponibles máximas acumuladas para informes por cada supervisor.

$$\sum_{i=1}^{114} PesoINF_i * x_{ij} \leq Horas_j \quad \forall j = 1, \dots, 10 \quad (10)$$

10. Restricción de balance de la Ponderación mínima de los tiempos de coordinación por cada supervisor.

$$\sum_{i=1}^{114} \text{PesoCOOR}_i * x_{ij} \geq \text{TotalPOND}_4 \quad \forall j = 1, \dots, 10 \quad (11)$$

11. Restricción de balance de la Ponderación máxima de días de supervisión por supervisor.

$$\sum_{i=1}^{114} \text{PesoSUP}_i * x_{ij} \leq \text{TotalPOND}_5 \quad \forall j = 1, \dots, 10 \quad (12)$$

12. Restricciones de no negatividad.

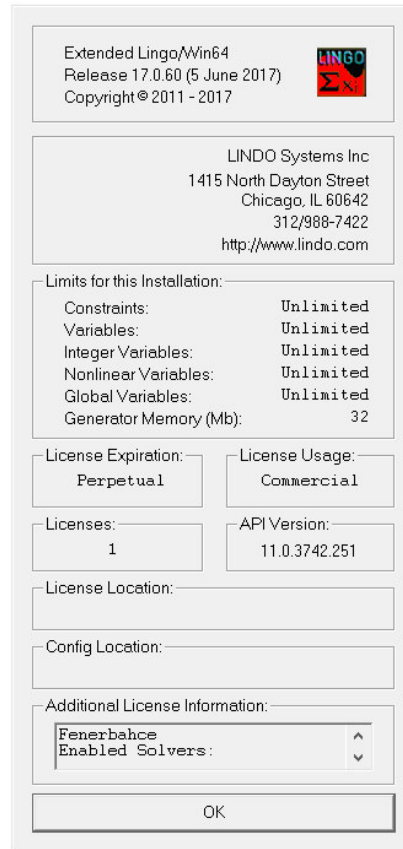
$$x_{ij} = 0 \text{ ó } 1 \quad \forall i = 1, \dots, 114 \quad \forall j = 1, \dots, 10$$

3.4.4.5. Solución en el Software LINGO

Se utilizó el Software LINGO para la solución del problema de Programación Lineal Entera Binaria planteado en el presente trabajo. A continuación, se muestran las características de la versión de Lingo en la cual se resolverá el problema.

Figura 3

Características de Software LINGO



Asimismo, se utilizará una computadora con las siguientes características:

Figura 4

Características de la computadora

Sistema

Procesador: Intel(R) Core(TM) i7-8550U CPU @ 1.80GHz 2.00 GHz

Memoria instalada (RAM): 12.0 GB

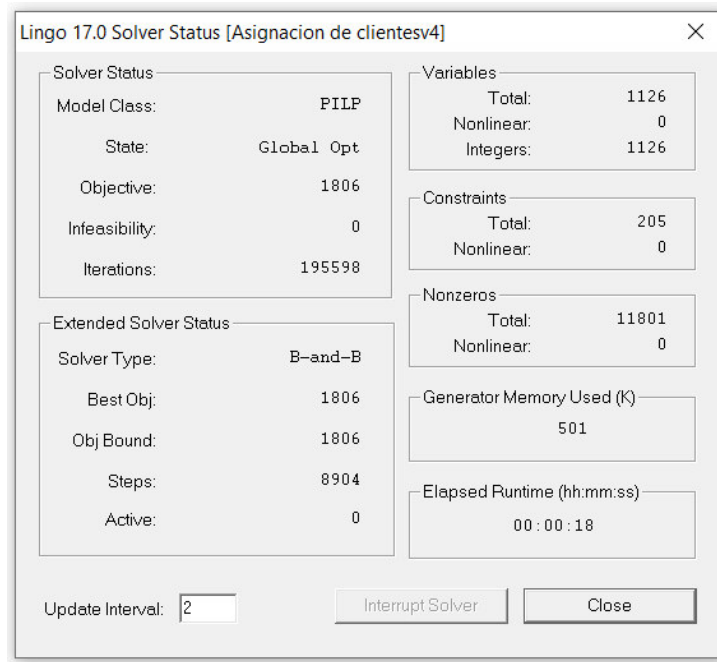
Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador x64

Por otro lado, para la solución del modelo se ha utilizado el comando @OLE para asociarlo a una hoja de cálculo en Excel, por lo que los parámetros están declarados en matrices las cuales son llamadas mediante este comando, finalmente cabe mencionar que el código en su forma compacta en lenguaje del software LINGO se detalla en el Anexo N° 05.

De la ejecución del código en el software LINGO se tiene el siguiente resultado:

Figura 5

Estado de solución



Como se observa en la imagen anterior el estado de la solución del modelo indica que se encuentra un óptimo global, asimismo indica que el tipo de solución es Branch and Bound y que el valor de la función objetivo es de 1806.

Por otro lado, el modelo tiene un total 1126 variables enteras y 205 restricciones, finalmente tenemos un tiempo de ejecución transcurrido para el cálculo de la solución de 00:18 segundos. Asimismo, se ha validado que la solución obtenida ha cumplido con todas las restricciones establecidas.

3.5. Resultados

En este ítem se presentan y discuten los resultados de la aplicación del modelo matemático y se comparan con la distribución de la cartera actual de clientes medidos ambos bajo los mismos parámetros mencionados en el punto anterior.

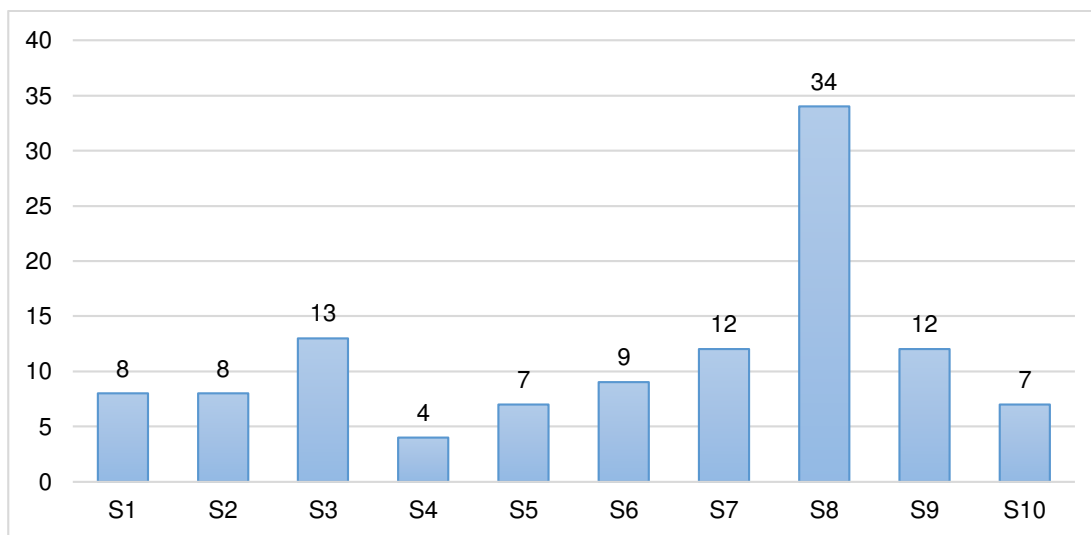
Para ello primero se comparan las cantidades de clientes por supervisor y posterior a ello se revisa el comportamiento de cada ponderación y se analiza si el resultado obtenido del modelo es una mejor distribución de la cartera.

3.5.1. Comparación de Cantidad de Clientes

De la actual distribución de clientes se sumó la cantidad de clientes asignados por cada supervisor y como se puede observar en la Figura 6 se tiene el supervisor S6 tiene una cantidad mínima de 4 clientes, mientras que el supervisor S8 tiene 34 clientes el cual supera el límite establecido para el modelo de 20 clientes por supervisor.

Figura 6

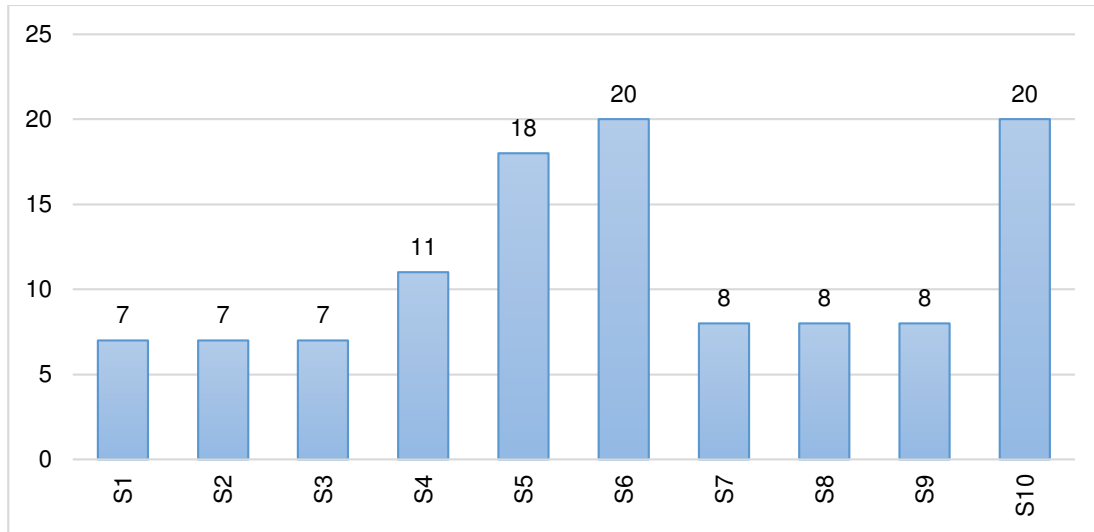
Cantidad de clientes por supervisor – Distribución actual



Por otro lado, en la siguiente figura se muestra la cantidad de clientes asignados por supervisor producto del resultado de la corrida del modelo propuesto, de donde se puede observar que la cantidad de clientes oscila entre el mínimo de 7 y máximo de 20 clientes por supervisor.

Figura 7

Cantidad de clientes por supervisor – Distribución propuesta



De este primer punto se puede observar que la distribución de la cantidad de clientes por supervisor se ha balanceado respetando los límites establecidos.

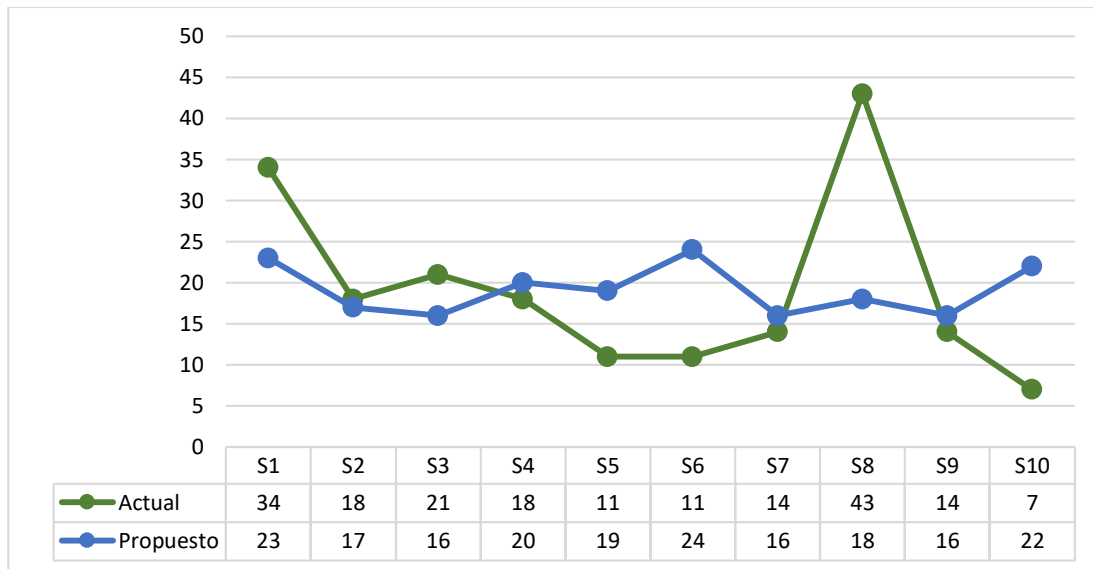
3.5.2. Comparación de Ponderaciones

Para ello se analizará el comparativo de cada ponderación en ambas distribuciones de cartera como se detalla a continuación:

En la figura 8 se puede observar la ponderación de las cantidades de órdenes de trabajo asignadas a cada supervisor en ambas distribuciones de cartera, donde la línea de color verde representa a la distribución actual y se puede observar dos niveles elevados que corresponden a el S1 y el S8 que tienen una mayor cantidad de documentación por generar, mientras que, en la distribución propuesta, la cual es representada por la línea azul las ponderaciones oscilan entre 16 y 24 disminuyendo la dispersión de esta ponderación.

Figura 8

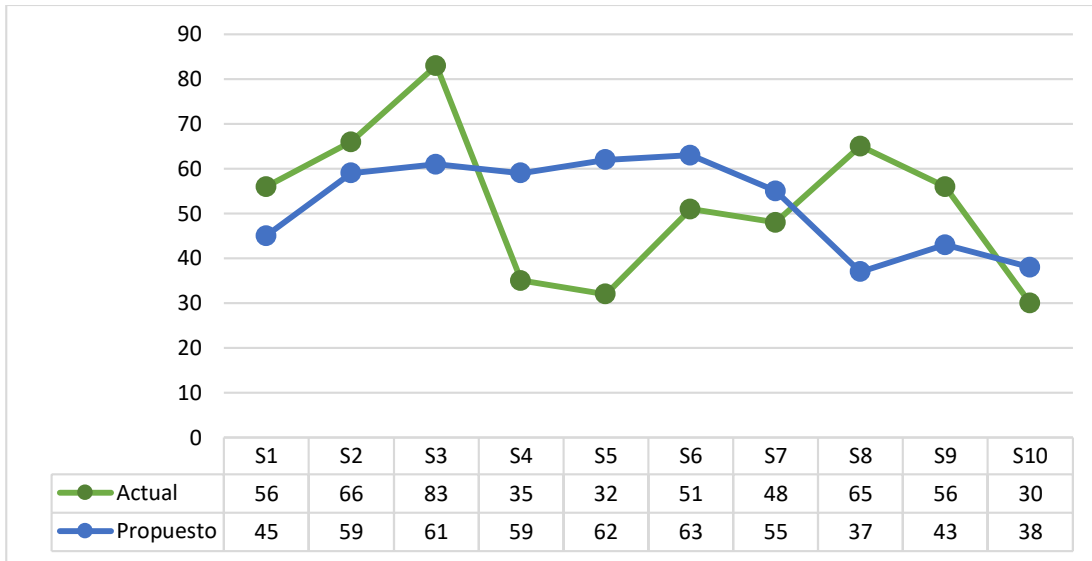
Comparativo de la ponderación de las cantidades de órdenes de trabajo por supervisor entre la distribución actual VS la distribución propuesta



En la siguiente figura 9 se puede observar la sumatoria de la ponderación de dificultad asignadas a cada supervisor en ambas distribuciones de cartera, donde cabe destacar que el supervisor S3 es el que tiene mayor carga de trabajo asignada, mientras que los S4, S5 y S10 tienen un menor nivel en esta ponderación, siendo los dos primeros personal con experiencia en la empresa y estarían con una cartera cuya dificultad es similar a la de un personal nuevo, asimismo, se tiene al S8 y el S9 que son personal nuevo y tienen una carga de trabajo superior al límite establecido. Por otro lado, en la distribución propuesta se observa que los supervisores del S1 al S7 tienen una distribución que oscila entre 45 y 63 quienes son personal antiguo con experiencia, mientras que la dificultad para los supervisores S8, S9 y S10 están entre 37 y 43 y corresponden a personal nuevo.

Figura 9

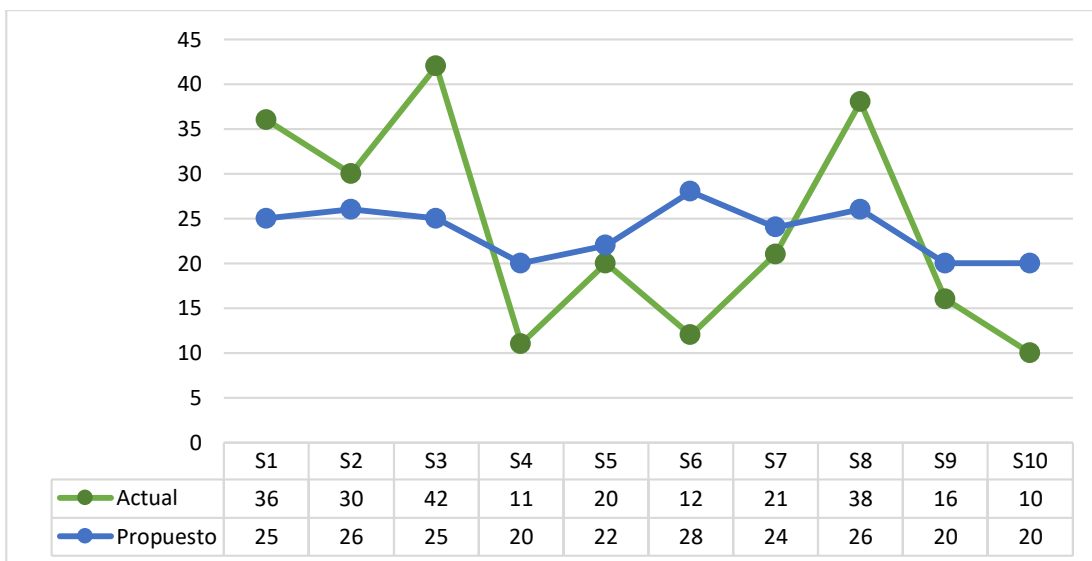
Comparativo de la ponderación de la dificultad acumulada por supervisor entre la distribución actual VS la distribución propuesta



A continuación, se muestra la figura 10 donde se puede observar la sumatoria de la cantidad de horas para elaboración de informes asignadas a cada supervisor en ambas distribuciones de cartera, donde se puede observar una amplia dispersión en la distribución actual, mientras que en la distribución propuesta la dispersión se reduce considerablemente y el rango en el que oscilan los datos es entre 20 y 28 horas.

Figura 10

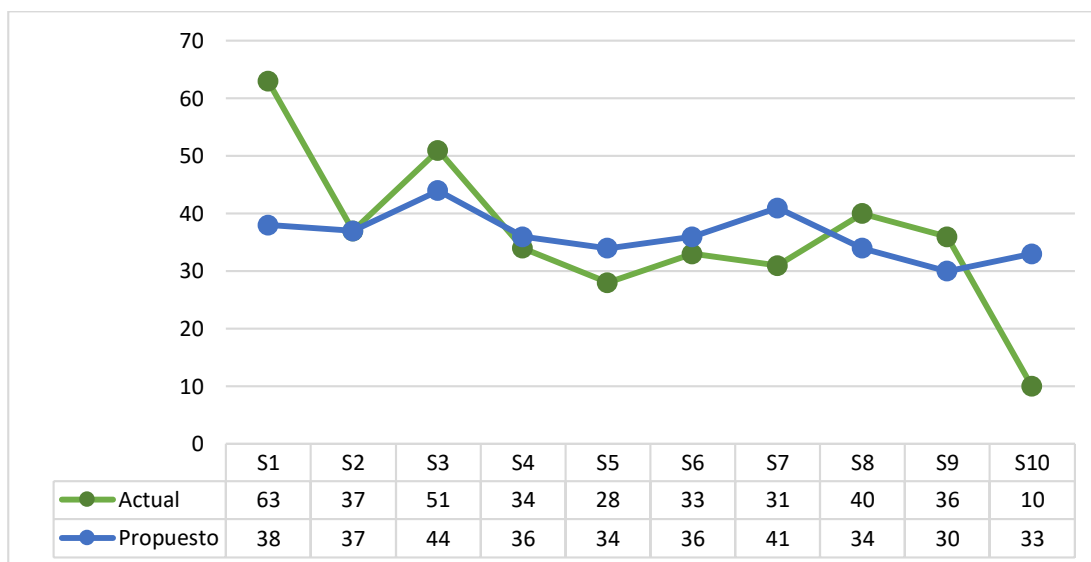
Comparativo de la ponderación de la cantidad de informes mensuales por supervisor entre la distribución actual VS la distribución propuesta



Por otro lado, en la figura 11 se puede observar la ponderación del nivel de coordinación asignado a cada supervisor en ambas distribuciones de cartera, en el cual se observa que solo el supervisor S1 y S10 tienen niveles alejados del promedio. Mientras que en la distribución propuesta del modelo se logra minimizar la dispersión de esta ponderación y también asignar un menor valor a los supervisores S8, S9 y S10.

Figura 11

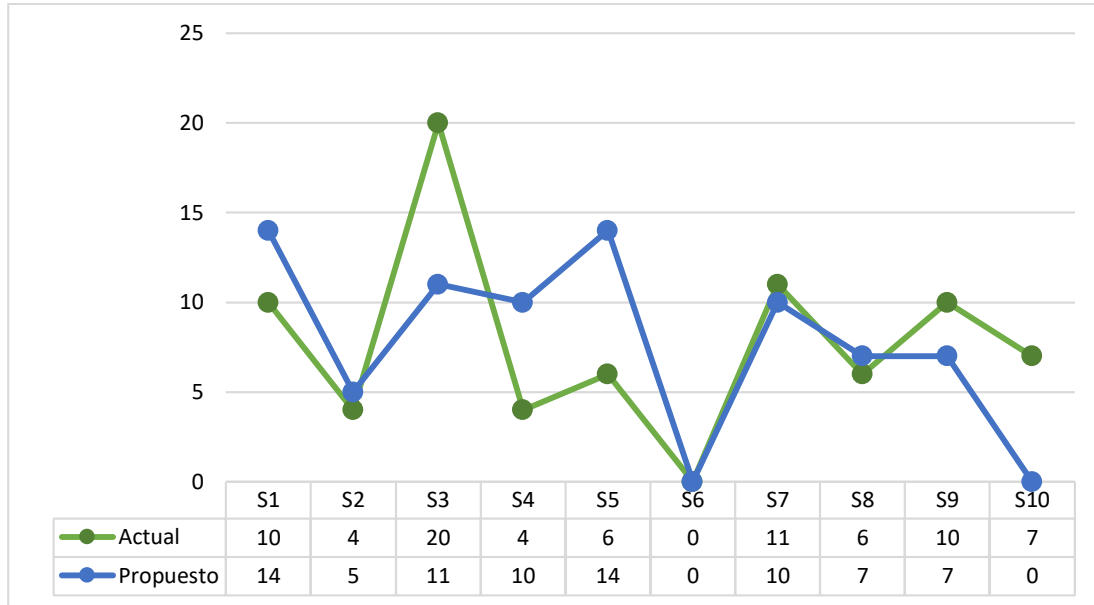
Comparativo de la ponderación del nivel de coordinación que requiere cada cliente por supervisor entre la distribución actual VS la distribución propuesta



Finalmente, en la figura 12 se puede observar la cantidad de días de supervisión asignado a cada supervisor de ambas distribuciones de cartera, de lo cual se observa en primera instancia que en ambas el supervisor S6 no tiene asignado días de supervisión de campo ya que es un personal que realiza trabajo remoto. Por otro lado, se observa para el modelo propuesto el supervisor S10 tampoco tiene días de supervisión asignado, para este caso se puede designar a este colaborador la atención de visitas a clientes que soliciten servicios de manera puntual y requieran de la presencia del personal para la verificación de la ejecución del servicio.

Figura 12

Comparativo de la ponderación de la cantidad de días de supervisión en campo por supervisor entre la distribución actual VS la distribución propuesta



De lo anterior expuesto se observa que en todas las ponderaciones el resultado del modelo propuesto representa un mejor nivel de distribución de cartera, ya que la dispersión entre cada supervisor por cada ítem disminuye considerablemente.

IV. Conclusiones

- La solución obtenida del modelo propuesto en el presente trabajo distribuye la cartera de cliente de manera proporcional a todos los supervisores de saneamiento acorde a las ponderaciones establecidas teniendo en cuenta las características de cada supervisor, tal como se mostró en el ítem 3.5.
- El modelo propuesto cumple con todas las características y restricciones solicitadas por el líder del área.
- El tiempo empleado para la distribución de cartera se reduce considerablemente, ya que el modelo es resuelto por el software en menos de un minuto y teniendo en cuenta que el levantamiento de los parámetros se actualizaría solo si las características de los clientes y/o supervisores cambian.
- Tal como se ha presentado en este trabajo el problema de asignación de cartera de clientes se puede sistematizar y resolver a través del desarrollo de un modelo de programación lineal entera binaria.

V. Recomendaciones

- Se recomienda realizar la corrida del modelo cada vez que se presente una de las siguientes condiciones: cese de personal, incremento de cartera considerable y pérdida de clientes.
- Se recomienda antes de implementar la solución propuesta realizar una presentación a los líderes del área para mostrar y sustentar el resultado obtenido y verificar que éste cumpla con todas las características solicitadas en el modelo.
- Para futuros estudios relacionados, la aplicación presentada puede ser modificada acorde a las características particulares de cada empresa, para lo cual se pueden agregar o disminuir parámetros y ponderaciones.
- En caso se requiera realizar el estudio de un problema similar con mayor cantidad de variables y/o complejidad, se recomienda utilizar otros métodos de solución tales como los heurísticas o meta heurísticas.

VI. Bibliografía

- Acuña, S., Madiedo, E. y Ortiz, N. (2013). Modelo de programación lineal binaria para el balance de carga de trabajo en el problema de asignación de proyectos. *Ingeniería y Universidad*, vol. 17, núm. 167 - 181. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47728625010>
- Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J. y Martin, K. (2011). *Métodos cuantitativos para los negocios*, 11a Ed. Cengage Learning
- Carrero, J. y Albarrazin, R. (2013). Asignación de la carga laboral para los empleados del grupo de aseo en áreas internas de la Universidad Industrial de Santander Campus Central [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2013/149674.pdf>
- Hillier, F. y Lieberman, G. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones*, 9na Ed. MCGRAW-HILL.
- Hirota, L. y Pino, A. (2018) *Metodología para diagnosticar el equilibrio entre la carga laboral y el desempeño masivo* [Tesis de maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/620820/Tesis%20UPC%20-%20Marina%20Hirota%20-%20Anyilo%20Pino%2012_08_16.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lomba, P. (1964). *Linear Programming: An introductory Analysis*, New York: MCGRAW-HILL BOOK COMPANY
- Moya, M. (1998). *La programación lineal*. Costa Rica: EUNED.
- Patiño, M. (2017). Capital Humano. <http://www.capitalhumano.com.co/actualidad/la-sobrecarga-de-trabajo-enemiga-de-la-productividad-8329>
- Serra de La Figuera, D. (1999). *Métodos Cuantitativos para la Toma de Decisiones (Con aplicaciones en el ámbito sanitario)*. Edita Fundación BBV
- Taha, H. (2012). *Investigación de Operaciones*. 9ed. México: Pearson Educación.

Winston, W. (2005). *Investigación de Operaciones aplicaciones y algoritmos*. 4ed. Editorial Thomson Learning.

VII. Anexos

Anexo N° 01: Cuestionario para medir el nivel de dificultad que clientes

I. Datos Generales

- 1.1. Apellidos y Nombres:
- 1.2. Cargo:
- 1.3. Fecha:

II. Evaluación

Marque con equis "X" el nivel de dificultad con el que califica a cada cliente, donde el nivel 1 es fácil y el nivel 10 indica difícil.

Para su evaluación considere el tipo de industria, nivel de especialización que requiere el servicio brindado, años de experiencia en el rubro, nivel de coordinación, entre otros aspectos que considera relevante.

Cód. Cliente	Razón Social	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CL1											
CL2											
CL3											
CL4											
CL5											
CL6											
CL7											
CL8											
CL9											
CL10											
CL11											
CL12											
CL13											
CL14											
CL15											
CL16											
CL17											
CL18											
CL19											
CL20											
CL21											
CL22											
CL23											
CL24											
CL25											
CL26											
CL27											
CL28											

Anexo N° 03: Formato de Revisión de requisito de supervisión mensual

I. Datos Generales

- 1.1. Documentos revisados:
- 1.2. Fecha:

II. Toma de datos

Cód. Cliente	Razón Social	¿Requiere supervisión? SI / NO	Cantidad de sedes	Cantidad de días	Observación
CL1					
CL2					
CL3					
CL4					
CL5					
CL6					
CL7					
CL8					
CL9					
CL10					
CL11					
CL12					
CL13					
CL14					
CL15					
CL16					
CL17					
CL18					
CL19					
CL20					
CL21					
CL22					
CL23					
CL24					
CL25					
CL26					
CL27					
CL28					
CL29					
CL30					
CL31					
CL32					
CL33					
CL34					

CL35				
CL36				
CL37				
CL38				
CL39				
CL40				
CL41				
CL42				
CL43				
CL44				
CL45				
CL46				
CL47				
CL48				
CL49				
CL50				
CL51				
CL52				
CL53				
CL54				
CL55				
CL56				
CL57				
CL58				
CL59				
CL60				
CL61				
CL62				
CL63				
CL64				
CL65				
CL66				
CL67				
CL68				
CL69				
CL70				
CL71				
CL72				
CL73				
CL74				
CL75				
CL76				
CL77				
CL78				
CL79				

CL80				
CL81				
CL82				
CL83				
CL84				
CL85				
CL86				
CL87				
CL88				
CL89				
CL90				
CL91				
CL92				
CL93				
CL94				
CL95				
CL96				
CL97				
CL98				
CL99				
CL100				
CL101				
CL102				
CL103				
CL104				
CL105				
CL106				
CL107				
CL108				
CL109				
CL110				
CL111				
CL112				
CL113				
CL114				

III. Precisiones adicionales

Anexo N° 04: Cuestionario de la entrevista

I. Datos Generales

- 1.1. Apellidos y Nombres:
- 1.2. Cargo:
- 1.3. Fecha:

II. Clientes que deben mantenerse con el supervisor actual

Mencione que clientes deben mantenerse bajo la gestión del supervisor actual e indique el motivo.

N°	Razón Social	Supervisor de operaciones	Motivo	Observación
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

III. Evaluación de experiencia

En la siguiente matriz califique en la escala del 1 al 10, el nivel de dificultad y/o esfuerzo que demandaría la atención del cliente a cada supervisor. Donde 1 indica un bajo nivel de dificultad y 10 un alto nivel de dificultad.

Cód. Cliente	Razón Social	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
CL1											
CL2											
CL3											
CL4											
CL5											
CL6											
CL7											
CL8											
CL9											
CL10											
CL11											
CL12											
CL13											
CL14											
CL15											
CL16											
CL17											
CL18											
CL19											
CL20											
CL21											
CL22											
CL23											
CL24											
CL25											
CL26											
CL27											
CL28											
CL29											
CL30											
CL31											
CL32											
CL33											
CL34											
CL35											
CL36											
CL37											
CL38											

6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

V. Cantidad de clientes mínimos y máximos por supervisor

En el siguiente cuadro, de acuerdo a la información histórica precise la cantidad de clientes mínimos y máximos para cada supervisor considerando que se tienen 114 clientes.

Cód. Supervisor	Supervisor de operaciones	Cantidad Mínima de clientes	Cantidad máxima de cliente	Observación
S1				
S2				
S3				
S4				
S5				
S6				
S7				
S8				
S9				
S10				

Anexo N° 05: Modelo matemático

SETS:

SUPERVISORES/1..10/:TOTAL_SUP, MIN_SUP,D_HORAS,MAX_DIF;

CLIENTES/1..114/:TOTAL_CLI;

ORDEN/1..114/:OT;

DIFICULTAD/1..114/:DIF;

INFORMES/1..114/:INF;

COORDINACION/1..114/:COOR;

SUPERVISION/1..114/:SUP;

FIJOS(CLIENTES, SUPERVISORES):FIJADOS;

PREFERENCIAS(CLIENTES, SUPERVISORES):PREFERENCIA;

PONDERACIONES/1..5/:TOTAL_PON;

ASIGNACION(CLIENTES, SUPERVISORES): SOLUCION;

ENDSETS

DATA:

TOTAL_SUP = @OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx');

D_HORAS = @OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx');

MIN_SUP = @OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx');

MAX_DIF = @OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx');

TOTAL_CLI = @OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx');

OT = @OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx');

DIF = @OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx');

INF = @OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx');

COOR = @OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx');

SUP = @OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx');

FIJADOS = @OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx');

TOTAL_PON = @OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx');

PREFERENCIA = @OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx');

@OLE('C:\Users\MIREYA\Desktop\Modelo\Asignacion de Clientesv4.xlsx')= SOLUCION;

ENDDATA

! Función objetivo;

MIN= @SUM (ASIGNACION: OT * SOLUCION) + @SUM (ASIGNACION: DIF * SOLUCION) +
@SUM (ASIGNACION: INF * SOLUCION) + @SUM (ASIGNACION: COOR * SOLUCION) +
@SUM (ASIGNACION: SUP * SOLUCION) + @SUM (ASIGNACION: PREFERENCIA *
SOLUCION);

! Restricción de asignación de cada cliente;

@FOR(CLIENTES(i):

 @SUM(SUPERVISORES(j) : SOLUCION(i,j))= TOTAL_CLI(i));

! Restricción de cantidad de clientes asignados máximos para cada supervisor;

@FOR(SUPERVISORES(j):

@SUM(CLIENTES(i) : SOLUCION(i,j)) <= TOTAL_SUP(j));

! Restricción de cantidad de clientes asignados mínimos para cada supervisor;

@FOR(SUPERVISORES(j):

@SUM(CLIENTES(i) : SOLUCION(i,j)) >= MIN_SUP(j));

! Restricción de Clientes fijados en cada supervisor;

@FOR(CLIENTES(i):

@FOR(SUPERVISORES(j) | FIJADOS(i,j) #EQ# 1 : SOLUCION(i,j) = 1));

! Restricción de balance de la Ponderación mínima de cantidad de órdenes de trabajo por supervisor;

@FOR(SUPERVISORES(j):

@SUM(CLIENTES(i): OT(i)*SOLUCION(i,j)) >= TOTAL_PON(1));

! Restricción de balance de la Ponderación mínima de la dificultad por supervisor;

@FOR(SUPERVISORES(j):

@SUM(CLIENTES(i): DIF(i)*SOLUCION(i,j)) >= TOTAL_PON(2));

! Restricción de dificultad máxima acumulada por supervisor;

@FOR(SUPERVISORES(j):

@SUM(CLIENTES(i): DIF(i)*SOLUCION(i,j)) <= MAX_DIF(j));

! Restricción de balance de la Ponderación mínima de horas en tiempos en elaboración de informes por supervisor;

@FOR(SUPERVISORES(j):

 @SUM(CLIENTES(i): INF(i)*SOLUCION(i,j)) >= TOTAL_PON(3));

! Restricción de horas disponibles máximas acumulada por cada supervisor;

@FOR(SUPERVISORES(j):

 @SUM(CLIENTES(i): INF(i)*SOLUCION(i,j)) <= D_HORAS(j));

! Restricción de balance de la Ponderación mínima de los tiempos de coordinación por supervisor;

@FOR(SUPERVISORES(j):

 @SUM(CLIENTES(i): COOR(i)*SOLUCION(i,j)) >= TOTAL_PON(4));

! Restricción de balance de la Ponderación máxima de días de supervisión por supervisor;

@FOR(SUPERVISORES(j):

 @SUM(CLIENTES(i): SUP(i)*SOLUCION(i,j)) <= TOTAL_PON(5));

!Declaración de variables binarias;

@FOR(ASIGNACION(i,j): @BIN(SOLUCION(i,j)));

END