



Serie Proyectos de Investigación e Innovación

Superintendencia de Seguridad Social
Santiago - Chile

INFORME FINAL

**285-2022 EXPLORACIÓN DE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN PARA MEJORAR LA
EFECTIVIDAD DE LA LABOR PREVENTIVA DE LOS EXPERTOS EN PREVENCIÓN DE
LOS OAL (ACHS)**

Autor: Centro de Modelamiento Matemático - Universidad de Chile
2024





SUPERINTENDENCIA DE SEGURIDAD SOCIAL

SUPERINTENDENCE OF SOCIAL SECURITY

La serie Proyectos de Investigación e Innovación corresponde a una línea de publicaciones de la Superintendencia de Seguridad Social, que tiene por objetivo divulgar los trabajos de investigación e innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades del Trabajo financiados por los recursos del Seguro Social de la Ley 16.744.

Los trabajos aquí publicados son los informes finales y están disponibles para su conocimiento y uso. Los contenidos, análisis y conclusiones expresados son de exclusiva responsabilidad de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente la opinión de la Superintendencia de Seguridad Social.

Si requiere de mayor información, sobre el estudio o proyecto escriba a: investigaciones@suseso.cl.

Si desea conocer otras publicaciones, artículos de investigación y proyectos de la Superintendencia de Seguridad Social, visite nuestro sitio web: www.suseso.cl.

The Research and Innovation Projects series corresponds to a line of publications of the Superintendence of Social Security, which aims to disseminate the research and innovation work in the Prevention of Occupational Accidents and Illnesses financed by the resources of Law Insurance 16,744.

The papers published here are the final reports and are available for your knowledge and use. The content, analysis and conclusions are solely the responsibility of the author (s), and do not necessarily reflect the opinion of the Superintendence of Social Security.

For further information, please write to: investigaciones@suseso.cl.

For other publications, research papers and projects of the Superintendence of Social Security, please visit our website: www.suseso.cl.

Superintendencia de Seguridad Social
Huérfanos 1376
Santiago, Chile.

285-2022 EXPLORACIÓN DE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN PARA MEJORAR LA EFECTIVIDAD DE LA LABOR PREVENTIVA DE LOS EXPERTOS EN PREVENCIÓN DE LOS OAL (ACHS)

Autores: Centro de Modelamiento Matemático - Universidad de Chile

INDICE

I.	Resumen ejecutivo	3
II.	Palabras claves	3
III.	Introducción y antecedentes	4
IV.	Definición del problema, pregunta de investigación o desafío de innovación	4
V.	Revisión de la literatura o experiencias relevantes	6
VI.	Descripción de la metodología o etapas de la innovación.....	8
VII.	Resultados	12
VIII.	Recomendaciones para Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo	57
IX.	Conclusiones	58
X.	Referencias.....	59
XI.	Anexos	60

Este trabajo fue seleccionado en la Convocatoria de Proyectos de Investigación e Innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades Profesionales (2022) de la Superintendencia de Seguridad Social (Chile), y fue financiado por los Organismos Administradores de la Ley con recursos del Seguro Social de la Ley N° 16.744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.

I. Resumen ejecutivo

Este trabajo está orientado a explorar modelos de optimización de asignación de recursos humanos, para mejorar la distribución de tareas mensuales de los expertos de la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS).

Se realizaron entrevistas a los expertos para comprender sus preferencias al recibir y efectuar tareas, incluyéndose esta información en la generación de diversas formulaciones matemáticas. Específicamente, se compararon diferentes tipos de problemas y modelos de optimización, considerando aquellos de tipo (A) *Carteras Preestablecidas*, que considera el uso de la carterización ya generada en la ACHS; (B) *Carteras Propuestas*, que incluye la posibilidad de asignar sucursales diferentes a las definidas en la carterización original, provenientes de una misma agencia.

Se probaron también tres tipos de modelos de optimización, cuyos propósitos son (M1) Maximizar criticidad de sucursales e importancia de tareas; (M2) Maximizar criticidad con restricciones sobre la relevancia de las tareas; (M3) Maximizar criticidad de sucursales, importancia de tareas y cobertura de casas matrices y sucursales.

Se compararon los resultados de los diferentes modelos y tipos de problemas, obteniéndose que el modelo M3 (usando las *carteras preestablecidas*) es el de mejor rendimiento según los propósitos actuales de la ACHS, aumentando el número de tareas asignadas hasta un 12% y de sucursales visitadas hasta un 14% en los escenarios estudiados. Precisamente, como el problema es multiobjetivo, la importancia relativa de los distintos criterios se incorpora como parámetros cuyo valor se basa en decisiones de la empresa, permitiendo generar múltiples escenarios para comparar sus ventajas y desventajas a través de diferentes indicadores.

II. Palabras claves

- Expertos de prevención
- Asignación de tareas
- Modelos de optimización
- Optimización multiobjetivo
- Programación lineal entera

III. Introducción y antecedentes

Los requerimientos de actividades de prevención son diversos tanto a nivel de acciones como de organizaciones que las necesitan. Ante el aumento de este tipo de solicitudes por parte de las empresas adheridas, resulta relevante para los Organismos Administradores de la Ley (OAL) planificar óptimamente la distribución de tareas entre sus expertos que las ejecutan, permitiendo así mejorar la productividad, calidad y cobertura, logrando un uso más eficiente de los recursos escasos; y con todo esto, aumentar la satisfacción de los usuarios finales.

Asignar tareas de manera eficiente es un problema de planificación relevante en muchas áreas, tales como servicios de salud, servicios de conducción (trenes, buses, aviones), turnos en la minería, entre otros. Existe amplia experiencia en estos problemas desde la academia y desde la propia experiencia de los investigadores de esta propuesta y el Centro de Modelamiento Matemático (CMM) de la Universidad de Chile.

Con este proyecto de exploración se busca responder la siguiente interrogante: ¿Qué modelos de optimización pueden ser usados para potenciar la efectividad y eficiencia de la planificación de las actividades que realizan los expertos en prevención para las empresas adheridas? Para ello, se propone construir un modelo de optimización en la asignación de tareas, que considere la globalidad del problema y pueda expresarse posteriormente en un sistema computacional para la toma de decisiones basada en evidencia, además de una propuesta alternativa del sistema de incentivos actual, considerando que la creciente complejidad de optimizar procesos ajustados a las demandas de las empresas crea desafíos de planificación, que deben estar alineados con una política de incentivos adecuados.

Comprendiendo que el propósito de esta investigación es asignar eficientemente las actividades de prevención, en las siguientes secciones se profundizará sobre el problema y la exploración realizada sobre diferentes soluciones. Específicamente, en la sección IV se define el problema y pregunta de investigación; luego, en el capítulo V se presenta la revisión bibliográfica asociada a este proyecto que es un insumo para la propuesta a desarrollar; a continuación, se describe la metodología en la sección VI; su aplicación y principales resultados se muestran en el capítulo VII, generándose un conjunto de alternativas para la ACHS; posteriormente, en la sección VIII se presentan las recomendaciones de la implementación de este proyecto; finalizando con las principales conclusiones en el capítulo IX.

IV. Definición del problema, pregunta de investigación o desafío de innovación

Problema: En sus términos de referencia de este proyecto prioritario, la ACHS define el problema al que se enfrenta de la siguiente manera: *“El aumento de organizaciones en nuestro país genera a la vez un aumento de la demanda de necesidades preventivas por parte de las empresas adheridas, así como, por ejemplo, contar directamente con el apoyo de expertos en prevención de los OAL para la implementación de diversas actividades preventivas. Esto hace que la planificación de los OAL para las actividades de prevención se vuelva cada vez más compleja, a pesar de contar muchas veces con modelos de tiempo o de incentivos para su implementación. Para que los OAL puedan prestar un conjunto de diversas actividades preventivas a todas sus empresas adheridas, deben planificar*

cuidadosamente la agenda de todos los expertos, no obstante, existen externalidades que afectan la planificación, por ejemplo, en ciertos casos las empresas no pueden ejecutar las actividades o los OAL quieren empujar el desarrollo de alguna actividad en específico. Por lo que se busca explorar ¿Qué modelos de optimización pueden ser usados para potenciar la efectividad y eficiencia de la planificación de las actividades que realizan los expertos en prevención para las empresas adheridas? ”.

Así, es posible reconocer que la forma de asignación de horas de expertos actualmente se realiza considerando únicamente la variable *tiempo*, reflejada en los tiempos que disponen los expertos para realizar distintas labores y la duración media estimada de cada actividad a realizar. En un problema multivariable como este, la conceptualización durante la etapa inicial de exploración de modelo es de vital importancia, previo a la etapa de resolución de la problemática de asignación de recursos e incentivos como el requerido.

Preguntas de investigación: En esta etapa inicial, la identificación de variables relevantes es clave para lograr construir un modelo que represente lo más fielmente a la realidad y cómo estas interactúan para influir el problema. De igual forma, determinar la importancia relativa (“peso”) de cada variable en el problema es de suma relevancia, es decir, cuantificar qué tanto explican la magnitud del problema en términos porcentuales. Por esto, las **preguntas de investigación** son: *¿cuáles son las variables relevantes y su peso relativo en el problema de asignación de recursos?, ¿puede un modelo matemático y computacional representar la problemática con suficiente precisión para optimizar la asignación de recursos?, ¿son los incentivos actuales adecuados?* De una forma preliminar, se puede reconocer una serie de variables que parecieran ser críticas en el problema, entre ellas: ubicación de la empresa (en qué región, si es zona rural o urbana), el tamaño de la empresa, distancia y ruta a recorrer por el experto, nivel de carga global de actividades por ejecutar, nivel de desfase respecto a lo proyectado el mes anterior (atrasos), nivel de experiencia del experto, incentivos existentes, conocimiento o cercanía entre el asesor y la empresa, grados de insatisfacción por experiencias previas, entre otros. Como parte de la etapa inicial del proyecto -y posiblemente durante toda su ejecución- se descubrirá si estas u otras variables son relevantes y cuánto influyen cada una de ellas en el problema, se cuantificará esta información y se integrará en el modelo en desarrollo. De esta forma, entender el problema es clave, es por eso que se enfrentará el proyecto de una manera holística, desde enfoques distintos como la psicología laboral y la prevención de accidentes y salud laboral, que enriquecen el enfoque puramente basado en modelos matemáticos o informáticos -relevantes, por cierto-.

Relevancia: Cualquier aproximación teórica que se pueda establecer para justificar la relevancia de solucionar este problema para la prevención de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, palidece ante la evidencia que este es un problema **clasificado como prioritario** por un organismo experto como la ACHS en la presente convocatoria. De todos modos, se puede distinguir que este problema de asignación de expertos en prevención, parece ser un problema de productividad generalizado entre los OAL, por lo que debiera impactar (sin aventurarse en la magnitud) en la eficacia de las actividades de prevención y, por tanto, menores tasas de accidentes y enfermedades profesionales, y una mejora en la satisfacción de las empresas afiliadas.

Para la realización de este proyecto, se proponen los siguientes objetivos:

Objetivo general

Explorar y validar modelos de optimización para aumentar la efectividad y eficiencia de la labor preventiva en el marco de la planificación estratégica, mejorando la satisfacción de los usuarios finales del servicio.

Objetivos específicos

- Caracterizar el conjunto de variables, restricciones y medidas de desempeño, que inciden en la planificación de actividades de prevención que desarrollan los expertos de los OAL.
- Construir modelos de optimización dinámicos para determinar las actividades en un horizonte de tiempo.
- Proponer un sistema de incentivos y las actividades que deben ejecutar los expertos en prevención, para orientar el logro de las metas definidas institucionalmente.
- Aplicar a datos reales y simular el comportamiento del modelo en diversos escenarios.

Se destaca que en el tercer objetivo se priorizará la planificación de actividades por sobre el sistema de incentivos, en concordancia con el propósito de explorar y validar modelos de optimización para la asignación de tareas. En relación con estos problemas de optimización, sus formulaciones considerarán como información de entrada los requerimientos de la ACHS, aspectos de interés de los expertos, características propias de las tareas y sucursales, además de la información histórica de las visitas a las distintas sucursales. Diferentes formulaciones y sus correspondientes efectos en la solución son analizados en este informe. Para comprender los antecedentes en que se basan las formulaciones propuestas, se presenta a continuación el marco teórico de la investigación.

V. Revisión de la literatura o experiencias relevantes

En este proyecto se busca optimizar la planificación de los expertos, lo que permitiría mejorar la calidad y cobertura de actividades de prevención realizadas por los OAL, logrando un uso más eficiente de los recursos escasos frente a la inmensa demanda de estas actividades por las empresas adheridas. Los objetivos de esta planificación son tanto de eficiencia productiva (acciones o tareas efectivamente asignadas) como de satisfacción de los usuarios o “clientes” beneficiarios finales. Igualmente, se deben considerar las mejores condiciones de trabajo de los expertos de la ACHS. De esta forma, se espera que este proyecto genere una mejor comprensión de todas las variables y factores que inciden en la eficiencia, así como modelos y algoritmos que permitan optimizar y agilizar la planificación al interior de la ACHS, incluyendo el control de los numerosos factores aleatorios y emergentes que surgen en cualquier plan de trabajo que involucra a cientos de personas u operadores. De todos modos, un modelo de optimización como este será tan bueno como la información disponible para construirlo y se diseñará para ir actualizándose a medida que se descubren o infieren nuevas variables, o se ponderen de forma distinta. En la medida que la información sea confiable y fidedigna, se transforma en evidencia.

Aun cuando el problema planteado por la ACHS es específico, ya que responde a particularidades de la institución y del sistema chileno de seguridad laboral, aquí se describen brevemente algunas de las más relevantes contribuciones bibliográficas en el tema de este proyecto, en ámbitos similares de asignación de recursos.

En las referencias [1], [2] y [3] se presentan tres trabajos de modelamiento, algoritmos y construcción de software para la asignación de tareas de conducción de trenes en el área de la minería. Aun cuando son problemas de naturaleza diferente, son problemas de asignación de recursos que pueden ser tratados de forma similar formulándolos como problemas de optimización entera bajo restricciones.

En [4] se muestra un extenso trabajo que recopila lo esencial de la literatura existente, en la cual aparecen tres aproximaciones metodológicas principales: métodos exactos (esencialmente programación lineal con variables de decisión), heurísticas (algoritmos de búsqueda inteligente) y metaheurísticas (heurísticas avanzadas basadas en modelos probabilísticos y análisis en profundidad mediante teoría de la información, entre otros). Estos métodos se adaptan bien, según su naturaleza, a distintos tipos de problemas de optimización, entre los cuales están la planificación de producción, mantenimiento de equipos y sistemas hospitalarios.

La referencia [5] aborda el problema de asignación y ruteo para los servicios de cuidados en el hogar de enfermos o personas ancianas (Home Health Care Services - HHCS), que es un problema de alta complejidad y que necesita un alto nivel de cumplimiento, debido al gran número de agentes que intervienen y a sus características esencialmente probabilísticas, que inducen alta incertidumbre en la realización de las tareas (duración, toma de decisiones rápidas, etc.). Se propone allí una aproximación de tipo multiobjetivo, puesto que coexisten varios requerimientos que deben ser cumplidos de manera simultánea. El propósito es generar planes de trabajo diario que sean eficientes y capaces de absorber las incertidumbres sin alterar los objetivos generales del plan, controlando costos, preferencias de los pacientes y sus familias, así como la factibilidad global de las atenciones.

En [6] se propone una forma de resolver un problema de asignación de tareas de recursos humanos de manera de maximizar los beneficios globales de la organización (los cuales pueden ser financieros o no), usando parámetros propios de las funciones, como son: las duraciones esperadas y la eficiencia en la obtención del resultado de cada tarea, tanto en el caso determinista (ausencia de incertidumbre) como en el caso incierto, en el cual los parámetros son variables aleatorias. En ese caso se usan modelos que consideran escenarios y las posibles actitudes de los tomadores de decisión (aversión al riesgo, por ejemplo).

La referencia [7] es un manual de la Organización Mundial de la Salud, el Banco Mundial y la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional, que tiene como objetivo capacitar técnicamente a los administradores y formuladores de políticas de salud. Es una referencia integral, estandarizada y fácil de usar para monitorear y evaluar los recursos humanos. Reúne un marco analítico con opciones estratégicas para mejorar la información y la base de pruebas del personal sanitario. En particular este libro se orienta al análisis de los casos de países de ingresos bajos y medios.

Finalmente, la referencia [8] intenta dilucidar cómo la gestión de recursos humanos es esencial para cualquier sistema de atención médica y cómo se podría mejorar los modelos de atención médica. Examina los casos de los sistemas de Canadá, Estados Unidos de América y varios países en desarrollo, con sugerencias para superar las debilidades y carencias a través de la implementación adecuada de prácticas de gestión de recursos humanos.

En estos trabajos se presentan diversos puntos de vista relacionados con la temática de este proyecto, todos esencialmente orientados a la asignación eficiente de recursos humanos. En ese sentido, el presente desafío podría estar cercano a la teoría conocida como la del “vendedor viajero”, en la cual un agente debe recorrer una serie de puntos prestando un servicio y regresando a su base o punto de inicio, considerando en algunos casos, ventanas de tiempo para las prestaciones, de manera de maximizar la eficiencia de su trabajo.

En este enfoque es importante considerar la resolución de quiebres o situaciones de emergencia, que generan cambios en el plan o recorrido, las cuales deben adoptarse con rapidez. Estos factores aleatorios son difíciles de enfrentar, porque son inesperados y de cuantía impredecible. Por eso, la estrategia es proveer al planificador de programas robustos, es decir, resistentes a cambios eventuales (en este caso, pueden ser ausencias de personas por razones emergentes, fallas en sistemas de transporte, duración más larga de lo previsto en algunas prestaciones, etc.). Por lo tanto, sugerimos algoritmos que combinan la programación matemática con la planificación bajo escenarios (pesimista, optimista, intermedio), que dependen de los niveles de riesgo o costos que sean admisibles. En el área de la salud y la prevención estos elementos son especialmente sensibles y la idea es tener planes robustos preparados para escenarios desfavorables, toda vez que se trabaja con personas y para las personas.

VI. Descripción de la metodología o etapas de la innovación

Para lograr el objetivo de este proyecto, se propone realizar las siguientes cinco fases, cuya distribución temporal se presenta en la Carta Gantt de la Figura 1.

- Modelo conceptual: definición y levantamiento de información, revisión bibliográfica.
- Modelo matemático: marco teórico y construcción de modelos de optimización vinculados a modelos de planificación.
- Implementación computacional: desarrollo de modelos de optimización.
- Validación de modelos: fase de simulación, pruebas y validación.
- Prueba general del sistema: formulación de resultados, conclusiones y recomendaciones, integración a sistemas de la ACHS.

	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13
CARTA GANTT													
A1: Modelo conceptual													
A1.1: Bases teóricas (ACHS)													
A1.2: Análisis de entorno (expertos)													
A2: Modelo matemático													
A2.1: Variables de decisión													
A2.2: Objetivos y requerimientos													
A3: Implementación computacional													
A3.1: Esquema del proceso													
A3.2: Codificación y programación													
A4: Validación del modelo													
A4.1: Construcción de casos													
A4.2: Pruebas, validación y ajustes													
A5: Prueba general del sistema													
A5.1: Validación integral con ACHS													
A5.2: Capacitación en integración a ACHS													
A5.3: Conclusiones y recomendaciones													
	Hito 1: Informe							Hito 2: Informe					Hito3: Informe

Figura 1: Carta Gantt del proyecto.

Las actividades presentes en la Carta Gantt y que componen las cinco fases mencionadas son las siguientes:

A1.1: Bases teóricas

- Trabajo conjunto con directivos y responsables de la ACHS para detectar los principales requerimientos institucionales en el contexto de este proyecto.
- Identificación de datos disponibles y de informaciones a recolectar en terreno.

A1.2: Análisis de entorno

- Diseño del muestreo de personas a entrevistar, a saber, tamaño, estratificación, cuestionarios o instrumentos, modalidad (presencial, remota, correo u otra).
- Cobertura: se hará lo más exhaustiva posible (condicionado a tiempo y costos), en términos de representatividad de regiones, por ejemplo.

A2.1: Variables de decisión

- Identificación de variables de decisión (quién realiza qué tarea y cuándo), parámetros a usar (por ej., lapsos de descanso y frecuencia, duración esperada de las tareas, etc.).
- Relaciones matemáticas entre estas variables (exclusiones, simultaneidad, tareas relacionadas, jerarquías).

A2.2: Objetivos y requerimientos

- Construcción de un modelo matemático de optimización decisional que integre los dos elementos anteriores.

A3.1: Esquema del proceso

- Estructura del proceso de cálculo del modelo de la etapa anterior.
- Lógica de codificación, elección de lenguaje computacional y componentes de sistema de cálculo.

A3.2: Codificación y programación

- Escritura del código computacional y pruebas de funcionamiento de sus partes.
- Identificación de datos de prueba y validación de la lógica interna y sus interacciones.
- Entrada de datos y salidas de resultados.

A4.1: Construcción de casos

- Trabajo con la ACHS para generar los datos de casos relevantes.
- Preparación de archivos de datos.

A4.2: Pruebas, validación y ajustes

- Pruebas de funcionamiento en entorno real.

- Conclusiones y cambios o modificaciones al modelo.

A5.1: Validación integral con ACHS

- Trabajo conjunto para validar y detectar posibles errores o mejoras.

A5.2: Capacitación

- Jornada de trabajo conjunto con usuarios del sistema para internalizar su uso y alcance.

A5.3: Conclusiones y recomendaciones

- Preparación de documentación del sistema y manuales.
- Reporte de conclusiones y recomendaciones de uso.
- Propuesta de desarrollos y mejoras posteriores, no incluidas en este proyecto.

A continuación, se detalla la metodología utilizada para el análisis de entorno y la posterior inclusión de los resultados en el planteamiento de los distintos modelos de optimización.

A. Análisis de entorno: entrevistas a expertos de prevención

Se efectúan entrevistas a los expertos de prevención con el propósito de conocer la relación que tienen con el sistema de planificación de tareas y el plan de incentivos, para luego considerarlo como información de entrada en la creación de un plan alineado con el nuevo modelo estratégico de programación de tareas a proponer. A continuación, se describe la muestra y la metodología de las entrevistas.

A1. Muestra

Participaron 29 trabajadores expertos provenientes y propuestos por la ACHS, correspondientes a 15 hombres y 14 mujeres, distribuidos equitativamente en diferentes zonas geográficas (Tabla 1) y pertenecientes a distintos negocios de la ACHS (Tabla 2), donde el negocio de La Red fue el de mayor representatividad y el de Minería el menor.

Tabla 1: Clasificación de la muestra por zona geográfica.

Zona geográfica	Número de expertos
Norte	9
Metropolitana	10
Sur	10

Tabla 2: Clasificación de la muestra por negocio ACHS.

Negocio	Número de expertos
Minería	2
La Red	21
GIGE	6

A2. Metodología

Se realizan entrevistas por videoconferencia de 45 minutos de duración a cada trabajador de la muestra, que contiene 10 preguntas detalladas en el Anexo A y que están dirigidas a obtener información sobre el sistema de planificación, incentivos relevantes, conocimiento del plan de incentivos cruzados, mejoras sugeridas, problemáticas actuales, expectativas y beneficios, para así identificar las preferencias de los expertos, según la caracterización de estos.

Para poder incluir las recomendaciones obtenidas desde la opinión de los expertos, se ha decidido utilizar herramientas de optimización matemática, tal como se anunciaron en secciones previas. Específicamente, se presenta a continuación la contextualización de modelos de optimización clásicos al problema de interés de este proyecto, según la descripción dada por los expertos sobre su labor mediante las entrevistas.

B. Relación de la labor de los expertos con los modelos de optimización

Considerando el objetivo del proyecto y la información recopilada en las entrevistas a los expertos, se plantea explorar inicialmente la solución desde dos perspectivas clásicas: El problema del vendedor viajero (*Travelling Salesman Problem*) y el problema de la mochila (*Knapsack Problem*).

B1. Problema del vendedor viajero

El problema consiste en determinar la ruta óptima de un vendedor que debe pasar por diferentes nodos y sin repetirlos, regresando al origen. El óptimo estaría enfocado en reconocer la ruta de menor costo, que para el caso de la ACHS se puede considerar como la distribución de tareas que requiere un menor tiempo.

Este problema clásico se relaciona con la asignación de tareas de los trabajadores de la ACHS de la siguiente forma:

1. Los trabajadores deben desplazarse a distintos lugares para efectuar sus tareas.
2. Las tareas deben asignarse una vez, sin repetir nodos (par tarea-sucursal).
3. Las tareas consideran tiempo de traslado y ejecución, por lo que se buscará realizar la asignación más conveniente que permita cumplir con los requerimientos y disponibilidad de tiempo.

El desafío será considerar un problema con múltiples viajeros, es decir, múltiples trabajadores. Debido al nivel de precisión de la información disponible, no se generarán rutas óptimas en este proyecto. Como alternativa, se propondrá un orden conveniente de las tareas a realizar según las comunas en que están las sucursales correspondientes, facilitando la organización que debiesen haber realizado de todas formas los expertos de forma previa a visitar las empresas.

B2. Problema de la mochila

Este problema consiste en llenar una mochila con los elementos que generen un mayor beneficio, considerando el tamaño de cada uno y el espacio disponible en la mochila.

La relación de esta situación con el desafío de los trabajadores de la ACHS se compara de la siguiente manera:

1. Cada trabajador (mochila) debe recibir un stock de tareas, que representan a los elementos (tareas) que se añaden a la mochila.
2. Los trabajadores tienen un límite de tiempo máximo disponible, análogo al espacio que se tiene en la mochila.
3. Los elementos que se agregan a la mochila poseen diferentes características y beneficios, tal como ocurre con la importancia de las tareas y la criticidad de las sucursales. Se podrían distribuir las tareas de forma tal que se maximice el beneficio de la empresa o de cada trabajador (o minimizar costos, dependiendo el enfoque), como también aspirando a distribuir equitativamente la carga de tareas.

B3. Enfoque múltiple

En términos generales, los dos problemas clásicos descritos anteriormente se podrían combinar para representar el problema a tratar en el proyecto. Con ello, se buscarían asignaciones óptimas que permitan cumplir con las tareas mensuales, según el stock asignado a partir de la disponibilidad de los trabajadores. Qué tareas y sucursales son asignadas a los expertos se concluirá mediante los modelos de optimización que serán detallados más adelante en este documento. Por el nivel de detalle de la información disponible, no es posible plantear un problema de ruteo, pero se evaluará agrupar las tareas tras la resolución del problema de optimización, con el propósito de entregar un orden propuesto de ejecución para los expertos.

Es posible incorporar aspectos asociados a otros tipos de problemas, con las particularidades mismas del contexto en que se desenvuelvan los trabajadores, pero se presume que la base de la planificación óptima tendrá relación con los problemas clásicos descritos.

VII. Resultados

A. Entrevistas a expertos en prevención

En esta sección se presentan los resultados de las entrevistas considerando los elementos con mayor ocurrencia e importancia para los entrevistados, destacándose aquellos que se relacionan especialmente con el modelo de asignación de tareas que se propondrá. Particularmente, sobre los modelos de incentivos y de asignación de expertos, en su mayoría prefieren realizar cambios menores u optan por mantenerlos, siendo una decisión estratégica de la ACHS la realización de modificaciones y comunicarlas efectivamente con los trabajadores. Las propuestas en relación con estos modelos se destacan a continuación.

A1. Modelo de incentivos

1. Modificaciones: Una de las principales críticas se relaciona con que el modelo de incentivos se cambia frecuentemente, por lo que prefieren que mayormente se mantenga.
2. Indicadores: Con relación a los indicadores involucrados, sugieren que el KPI¹ de desafiliación considere también la captación de nuevas empresas, ya que un balance entre ingresos y desafiliaciones podría representar mejor su desempeño.
3. Encuestas: Solicitan que exista la posibilidad de que las empresas editen las respuestas en las encuestas de satisfacción ante errores al completarlas.

¹ KPI: Key Performance Indicator (indicador clave de rendimiento).

4. Accidentabilidad: Consideran que la planificación debería dejarles tiempo para hacer una gestión activa de accidentabilidad, entregándoles estadísticas de años anteriores y permitiéndoles hacer un programa especializado en cada empresa de su cartera para disminuir la accidentabilidad.
5. Carga por temporadas: El modelo actual no considera que existan rubros que tienen temporadas de mayor o menor producción, como el rubro agrícola, ocasionando que haya meses en donde se producen aumentos o disminuciones en los movimientos, actividades requeridas para hacer o incluso en el número trabajadores en la empresa.

A partir de las respuestas obtenidas, se propone mantener el sistema de incentivos cruzados, evaluando la modificación del KPI de desafiliación y analizando la pertinencia de la posibilidad de modificar respuestas de las encuestas de satisfacción. Por el contrario, los comentarios surgidos en relación con la asignación de expertos permiten añadir modificaciones al modelo actual (o plantear uno nuevo), cuyas posibles implementaciones se analizan en cada uno de los puntos siguientes:

A2. Modelo de planificación

1. Presencialidad: La mayor parte de los expertos prefieren tareas presenciales, independiente del género y la ubicación geográfica. Esto se debe, entre otros factores, a que las tareas en esta modalidad tienen una mayor valoración de los clientes, permitiendo incluso efectuar más de una actividad por visita y mejorando la relación con ellos. Además, algunos clientes tienen problemas de conexión para realizar tareas remotas, siendo un inconveniente que se evita al efectuar las actividades presencialmente. Sin embargo, no es posible asignar solamente tareas de aquel tipo, por lo que se sugiere evaluar para cada caso si es conveniente el cambio de actividades remotas a presenciales.
2. Duración: Tanto mujeres como hombres prefieren, en su mayoría, tener tareas largas en vez de un alto número de actividades cortas. Esta tendencia se observa mayormente en las mujeres, quienes solamente en un 14.3% escogerían tareas cortas, según se observa en la Tabla 3. La inclusión del género en la explicación y distribución de tareas es un tema que debe abordarse a nivel estratégico en la ACHS, por lo que su inclusión en el modelo se realizará solamente si así lo deciden.

Tabla 3: Preferencias de los expertos sobre la duración de las tareas según su género.

Género	Tareas cortas [%]	Tareas largas [%]	Indiferente [%]
Hombre	20	40	40
Mujer	14.3	50	35.7
En conjunto	17.2	44.8	38

3. Tareas cruzadas: Los expertos prefieren que no se les asignen tareas de carteras de otros expertos ni de otras agencias. Sin embargo, es necesario plantear la posibilidad de que la caracterización actual pudiera ser diferente y, eventualmente, más eficiente. Es por ello por lo que se propone evaluar la posibilidad de modificar las carteras dentro de una misma agencia, aunque la periodicidad en que se generen las nuevas distribuciones podría ser de alrededor de un año u otro intervalo de tiempo a decidir por la ACHS.
4. Carga de tareas: Los expertos solicitan cargar el 100% de las tareas a principio de mes en vez del 70%, lo que les permitiría organizarse más rápidamente en caso de anulaciones de tareas.

Si se acepta esta sugerencia, se amplificaría en los modelos de optimización la disponibilidad de cada experto según el incremento acordado.

5. Estimación de tiempo: Consideran que la estimación de tiempo de actividades y traslados no es precisa, además de no considerarse el utilizado en la generación de reportes. Una alternativa directa es revisar aquella estimación y actualizar los tiempos por parte de la ACHS, u organizar las tareas para que efectúen actividades de sucursales cercanas en un mismo día y se genere una holgura al disminuir los traslados, pudiendo ser usado el tiempo ahorrado para la elaboración de los reportes.
6. Diversidad de empresas: Consideran que hay empresas a las que se visitan mucho y otras no, perdiendo continuidad. Si se consideran metas de cobertura como información de entrada en los modelos de asignación, se podría visitar una mayor variedad de sucursales y disminuir los períodos en que no se han contactado con estas, presencial o remotamente, según corresponda.

A3. Conclusiones y recomendaciones de las entrevistas

A partir de los comentarios e ideas señaladas luego de la realización de las entrevistas, se plantea efectuar algunos cambios específicos en el modelo de incentivos, mientras que para el modelo de planificación se sugiere generar un conjunto de alternativas para que la ACHS pueda escoger la mejor, según los criterios estratégicos que estime convenientes.

Con relación al modelo de incentivos cruzados las recomendaciones son: (i) considerar KPIs que puedan ser responsabilidad directa de los expertos, particularmente ajustando el KPI de desafiliación para incorporar la captación de nuevas empresas en su cálculo; (ii) considerar solo la visita del experto correspondiente en la encuesta de satisfacción e identificar al inicio qué se está evaluando, junto con permitir la rectificación si es que fue un error de la empresa la respuesta otorgada.

Respecto a la planificación, los modelos variados a generar para la asignación de expertos debiesen permitir: (i) modificar el porcentaje de tiempo para asignar a principio de mes (70%) y así tener mayor flexibilidad en caso de anulación de actividades; (ii) evaluar la generación de nuevas carteras, aunque con la precaución de que los cambios no se perciban frecuentes por parte de los expertos; (iii) generar mayores holguras de tiempo para que los expertos puedan utilizar aquellos espacios en la generación de informes de las visitas; (iv) realizar un seguimiento del número de visitas efectuadas en un determinado período para considerar distribuir sucursales que no han sido asignadas recientemente, permitiendo mantener el contacto con estas.

Por último, se destaca que los entrevistados están dispuestos y abiertos al cambio y las mejoras, en la medida que se les comuniquen claramente y no sean modificaciones frecuentes. Participaron activamente en cada entrevista y quieren ser escuchados por la casa central para poder sentirse como asesores y no solamente como ejecutores de actividades.

Los resultados de las entrevistas son utilizados como insumos para el planteamiento de distintos modelos de optimización, cuya formulación general y específica de cada caso se describe a continuación.

B. Formulación matemática

Para realizar la asignación de tareas a los expertos, se propone analizar inicialmente dos tipos de problemas y dos modelos de optimización para cada uno. Los tipos de problema son: (A) *Carteras Preestablecidas*, que utiliza la carterización ya generada en la ACHS; (B) *Carteras Propuestas*, que permite asignar sucursales diferentes a las definidas en la carterización original, mientras sean de la misma agencia del experto. A continuación, se presentan los alcances generales de las distintas formulaciones propuestas, mientras que aquellos específicos se detallan en cada caso posteriormente. Los dos tipos de problemas y los diferentes modelos consideran los siguientes aspectos:

1. Se incluye la disponibilidad de los expertos como cota para la asignación de tareas.
2. Es posible definir si un experto es apto para realizar una tarea, tanto por la naturaleza de esta como por la preferencia de las sucursales sobre determinados expertos.
3. Es factible incorporar tareas grupales, aunque por defecto se consideran individuales.
4. Se priorizan las tareas de sucursales de mayor criticidad y con mejor ranking de importancia (ranking 1 es mejor), aunque con distintas expresiones matemáticas para cada modelo.
5. Cada problema es resuelto a nivel de agencia, asignando solamente tareas de agencias a las que pertenece cada experto. Existen excepciones, correspondientes a los expertos cuya carterización original presenta tareas de diferentes agencias, manteniéndose en los problemas tipo A, aunque limitándose a una sola agencia en los casos tipo B.

La formulación matemática del problema debe incluir los aspectos más relevantes en la asignación de los trabajadores con sus respectivas tareas. Los elementos que se utilicen dependerán de la estrategia de planteamiento y resolución del problema. Es por ello que se presentan inicialmente los elementos transversales a los distintos modelos, mientras que aquellos propios de cada caso se describen por separado.

B1. Formulación general

Los elementos comunes para los diferentes modelos son:

a) Conjuntos

1. P : Conjunto de trabajadores/expertos.
2. SU : Conjunto de sucursales.
3. T : Conjunto de tareas.

(1) Subconjuntos

1. L_c : Subconjunto de actividades de lineamientos comerciales, $L_c \subset T$.
2. $PCSU$: Subconjunto de pares de expertos $p \in P$ y sucursales $su \in SU$ asociados originalmente mediante una misma cartera (p, su) . En la definición de cada elemento del problema (parámetro, variable, restricción y función objetivo) de los problemas de tipo A (*Carteras Preestablecidas*) que incluyan a la vez expertos y sucursales se debe imponer que $(p, su) \in PCSU$. No aplica para los problemas de tipo B (*Carteras Propuestas*).
3. PT : Subconjunto de pares (p, t) de expertos $p \in P$ y tareas $t \in T$, que representa aquellos expertos aptos para efectuar la tarea correspondiente.
4. SUT : Subconjunto de pares (su, t) existentes de sucursales $su \in SU$ y tareas $t \in T$.

b) Parámetros

1. c_{su} : Criticidad de la sucursal $su \in SU$. Se asume que cada sucursal tiene una criticidad única. Cuando aparece más de un valor en los datos proporcionados para una misma sucursal, se asigna el mayor. Si no presenta ningún valor, se asume igual a 0.
2. c_{su}^{max} : Valor máximo de la criticidad de las sucursales (c_{su}).
3. f : Fracción de tiempo disponible para ser considerado en la asignación inicial de tareas, con $f \in [0,1]$.
4. i_t : Importancia (ranking) de la tarea $t \in T$ a ser asignada.
5. k_p : Capacidad en términos de tiempo (horas) del experto $p \in P$.
6. l_c : Fracción de tiempo máximo de cada experto destinado a actividades de lineamientos comerciales, con $l_c \in [0,1]$.
7. $n_{su,t}$: Número de personas requeridas para la tarea $t \in T$ en la sucursal $su \in SU$, con $(su, t) \in SUT$. Su valor por defecto es 1, pero se puede modificar para eventuales tareas en equipo.
8. $v_{p,su,t}$: Tiempo de viaje (ida y regreso) desde la comuna de la sede del trabajador p hasta la comuna de la sucursal su para efectuar la tarea t , con $(su, t) \in SUT$. Particularmente, las tareas $t \in T$ que son remotas tienen un tiempo de viaje nulo.
9. τ_t : Tiempo requerido para ejecutar la tarea $t \in T$.

c) Variables

1. $x_{p,su,t}$: Trabajador $p \in P$ es asignado para la tarea t en la sucursal su , con $(su, t) \in SUT$ (variable binaria, cuyo valor es 1 si se asigna la tarea al trabajador, 0 si no).
2. $y_{su,t}$: Tarea t en la sucursal su se asigna, con $(su, t) \in SUT$ (variable binaria, cuyo valor es 1 si la tarea es asignada, 0 si no).

d) Restricciones

(1) Capacidad de cada trabajador

El tiempo de traslado ($v_{p,su,t}$) y el de ejecución (τ_t) de todas las tareas a asignar no puede superar el tiempo disponible por experto ($f \cdot k_p$).

$$\sum_{(su,t) \in SUT} (\tau_t + v_{p,su,t}) \cdot x_{p,su,t} \leq f \cdot k_p, \quad \forall p \in P \mid (p, t) \in PT.$$

(2) Cumplimiento de tareas

Se deben asignar el total de trabajadores requeridos en cada tarea $t \in T$ ($n_{su,t}$) para ejecutarla.

$$\sum_{p \in P} x_{p,su,t} = y_{su,t} \cdot n_{su,t}, \quad \forall (su, t) \in SUT \mid (p, t) \in PT.$$

(3) Actividades de lineamientos comerciales

Este tipo de actividades no pueden superar un determinado porcentaje de tiempo (l_c) de la disponibilidad del experto.

$$\sum_{(su,t) \in SUT} (\tau_t + v_{p,su,t}) \cdot x_{p,su,t} \leq l_c \cdot f \cdot k_p, \quad \forall (p, t) \in PT \mid t \in L_c.$$

B2. Formulación modelo 1 (M1): Sumas ponderadas de criticidad e importancia

Los elementos adicionales que se deben incluir para implementar este modelo son:

a) Parámetros M1

1. i_{max} : Valor máximo del ranking de importancia de las tareas. Corresponde al caso de menor importancia (decrece al aumentar el ranking).
2. γ_C : Peso relativo de la criticidad de las sucursales en relación a la importancia de las tareas. $\gamma_C \in [0,1]$.
3. γ_I : Peso relativo de la importancia de las tareas en relación con la criticidad de las sucursales. $\gamma_I = 1 - \gamma_C$.

b) Función objetivo M1

Maximización de criticidad e importancia normalizadas.

$$\max \sum_{(su,t) \in SUT} \left\{ \gamma_C \cdot \left(\frac{c_{su}}{c_{su}^{max}} \right) + \gamma_I \cdot \left(\frac{i_{max} + 1 - i_t}{i_{max}} \right) \right\} \cdot y_{su,t}.$$

B3. Formulación modelo 2 (M2): Dependencia de importancias

Los elementos por incluir en la implementación de este modelo son:

a) Conjuntos M2

1. I : Conjunto de valores únicos de importancias de las tareas ($i = i_t$), $i = 1, \dots, i_{max}$.
2. SUT_i : Conjunto de pares (su, t) de sucursales $su \in SU$ y tareas $t \in T$, cuyas tareas son de importancia $i \in I$. $SUT_i \subset SUT$.

b) Parámetros M2

1. r_i : Porcentaje de asignación de tareas de importancia $i \in I$ requeridas para comenzar a distribuir las de importancia $i + 1$, $r_i \in [0,1]$.
2. g_i : Número de pares (su, t) de sucursales $su \in SU$ y tareas $t \in T$, cuyas tareas son de importancia $i \in I$, $g_i = |SUT_i|$.

c) Restricciones M2

(1) Orden de asignación

Las tareas de importancia $i + 1$ solo pueden ser asignadas luego de que haya sido distribuido un porcentaje r_i de tareas de ranking i .

$$\sum_{(su,t) \in SUT_i} y_{su,t} \geq r_i \cdot g_i \cdot y_{su',t'}, \quad \forall i \in I, \quad (su', t') \in SUT_{i+1}.$$

d) Función objetivo M2

Maximización de criticidad normalizada.

$$\max \sum_{\{(su,t) \in SUT\}} \left(\frac{c_{su}}{c_{su}^{max}} \right) \cdot y_{su,t}.$$

B4. Formulación modelo 3 (M3): Criticidad, importancia y cobertura

Los resultados de la sección VII permitirán notar que el modelo 1 puede ser escalado incluyendo metas de cobertura, es decir, considerar los toques efectuados y esperados en un año dinámico para una determinada sucursal o casa matriz. Además de la necesidad de agregar un factor para asegurar tareas de cierta importancia que se desean hacer obligatorias, siempre que la disponibilidad de los expertos lo permita. A continuación, se describen los elementos adicionales requeridos para complementar la formulación general y obtener el modelo M3:

a) Parámetros M3

1. i_{max} : Valor máximo del ranking de importancia de las tareas. Corresponde al caso de menor importancia (decrece al aumentar el ranking).
2. m_{su} : Meta de cobertura de la sucursal $su \in SU$, definida por su subsegmento. $m_{su} \in [0,1]$.
3. m_{su}^{max} : Valor máximo de la meta de cobertura.
4. q_{su} : Número de toques efectuados en la sucursal $su \in SU$ en el último año dinámico.
5. q_{su}^e : Número de toques esperados en un año dinámico en la sucursal $su \in SU$, definido por el subsegmento de cada una.
6. γ_C : Peso relativo de la criticidad de las sucursales en relación a la importancia de las tareas (γ_I) y de la meta de cobertura de sucursales/casas matrices (γ_M). $\gamma_C \in [0,1]$.
7. γ_I : Peso relativo de la importancia de las tareas en relación a la criticidad de las sucursales (γ_C) y de la meta de cobertura de sucursales/casas matrices (γ_M). $\gamma_I \in [0,1]$.
8. γ_M : Peso relativo de la meta de cobertura de sucursales/casas matrices en relación al peso de la criticidad (γ_C) y de la importancia de las actividades (γ_I). $\gamma_M = 1 - \gamma_C - \gamma_I$.
9. β_t : Ponderador para aumentar el peso de los lineamientos de ranking de importancia menor o igual a algún i_t . Su valor por defecto es 1000, correspondiente al menor valor del mismo orden de magnitud de la función objetivo en las resoluciones exploratorias del modelo. Con ello, se asignarán todas las tareas de ranking igual o menor a i_t que puedan ser incluidas según la disponibilidad de tiempo de los expertos.
10. ϵ : Margen para evitar valores nulos en los ponderadores de la función objetivo. Arbitrariamente, se asigna $\epsilon = 0.01$.

b) Función objetivo M3

Maximización de la criticidad, importancia de las tareas y cobertura normalizadas.

$$\max \sum_{(su,t) \in SUT} \left\{ \gamma_C \cdot \left(\frac{c_{su}}{c_{su}^{max}} \right) + \gamma_I \cdot \beta_t \cdot \left(\frac{i_{max} + 1 - i_t}{i_{max}} \right) + \gamma_M \cdot \left(\frac{m_{su}}{m_{su}^{max}} \cdot \frac{q_{su}^e - q_{su} + \epsilon}{q_{su}^e + \epsilon} \right) \right\} \cdot y_{su,t}$$

C. Indicadores

Para comparar los diferentes escenarios y resultados provenientes de los modelos y tipos de problemas, se ha determinado utilizar los siguientes indicadores:

C1. Indicadores globales

1. KPI_{an} : Tasa de tareas asignadas a nivel nacional.
2. KPI_{cn} : Tasa de cobertura de sucursales y casas matrices por subsegmento a nivel nacional.
3. KPI_{dn} : Tasa de tareas diferentes a nivel nacional (comparación entre modelos y re-ejecuciones).

4. KPI_{en} : Número de tareas asignadas de cada empresa a nivel nacional (concentración de carga de tareas).
5. KPI_{ln} : Tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos (equilibrio de tareas prioritarias).
6. KPI_{nn} : Número de tareas asignadas a nivel nacional.
7. KPI_{on} : Tasa de ocupación (tiempo) a nivel nacional.
8. KPI_{sn} : Número de sucursales según el número de tareas asignadas de cada una a nivel nacional (concentración de carga de tareas).
9. KPI_{tn} : Tasa de sucursales con un toque planificado según cada subsegmento a nivel nacional.

C2. Indicadores de agencias

1. KPI_{aa} : Tasa de tareas asignadas por agencia.
2. KPI_{ca} : Tasa de cobertura de sucursales y casas matrices por subsegmento para cada agencia.
3. KPI_{ea} : Número de tareas asignadas de cada empresa por agencia.
4. KPI_{la} : Tasa de tareas asignadas de cada agencia según la prioridad de los lineamientos (equilibrio de tareas prioritarias).
5. KPI_{oa} : Tasa de ocupación (tiempo) por agencia.
6. KPI_{ta} : Tasa de sucursales con un toque planificado según cada subsegmento por agencia.

C3. Indicadores de expertos

1. KPI_{ac} : Tasa de asignación de tareas de la cartera original por experto.
2. KPI_{op} : Tasa de ocupación (tiempo) por experto.
3. KPI_{ta} : Número de tareas asignadas por experto.

Para cada indicador del tipo KPI_z se entenderá que su valor promedio será $KPI_{z,p}$, el valor mínimo corresponderá a $KPI_{z,min}$ y el máximo a $KPI_{z,max}$.

D. Implementación

Respecto a los parámetros cuyos valores se deben asignar a partir de decisiones estratégicas de la ACHS, se escogieron los siguientes de forma transversal a las combinaciones de modelos y tipos de problemas:

1. $f=1$. Se ha considerado que la distribución inicial de tareas sea del 70%, quedando el tiempo restante para una re-asignación posterior en otro momento del mes. Sin embargo, en los datos de disponibilidad de tiempo (input) se ha incorporado este ponderador directamente, por lo que en la implementación se considera igual a 1.
2. $l_c=0.4$. Los lineamientos comerciales incluidos son: 'Lineamientos Casa Matriz a Sucursal -' y 'Lineamiento JP a RED -'.

Los valores de otros parámetros han sido asignados dependiendo del caso que se esté comparando, siendo especificado pertinentemente según corresponda en la siguiente sección. Los datos de entrada utilizados para la implementación y posterior análisis de desempeño, fueron los del período 202308, es decir, los datos del mes de agosto del 2023 para planificar las tareas de septiembre. En estos, hay 52771 tareas posibles para asignar, 439 expertos y 30 agencias en total.

Finalmente, la carga y filtrado de datos para generar los datos de entrada (*input*) de los distintos modelos se realiza en el software Python (3.9.12), que también es utilizado para la resolución de los problemas de optimización mediante el LP modeler PuLp (2.7.0) con el solver CBC (gapRel=0.05 (comparaciones M1 y M2), gapRel=0.01 (comparaciones M1 y M3) y timeLimit=600 [s]). De esta forma, tanto el software como el solver son libres (gratuitos), por lo que podrían ser utilizados en cualquier computador que cumpla con las especificaciones mínimas para su instalación. Tanto el software como el solver se escogieron por ser los usados actualmente por la ACHS, facilitando la integración que realicen luego de ser entregados los productos correspondientes.

El esquema del proceso de resolución del modelo se presenta a continuación en la Figura 2.

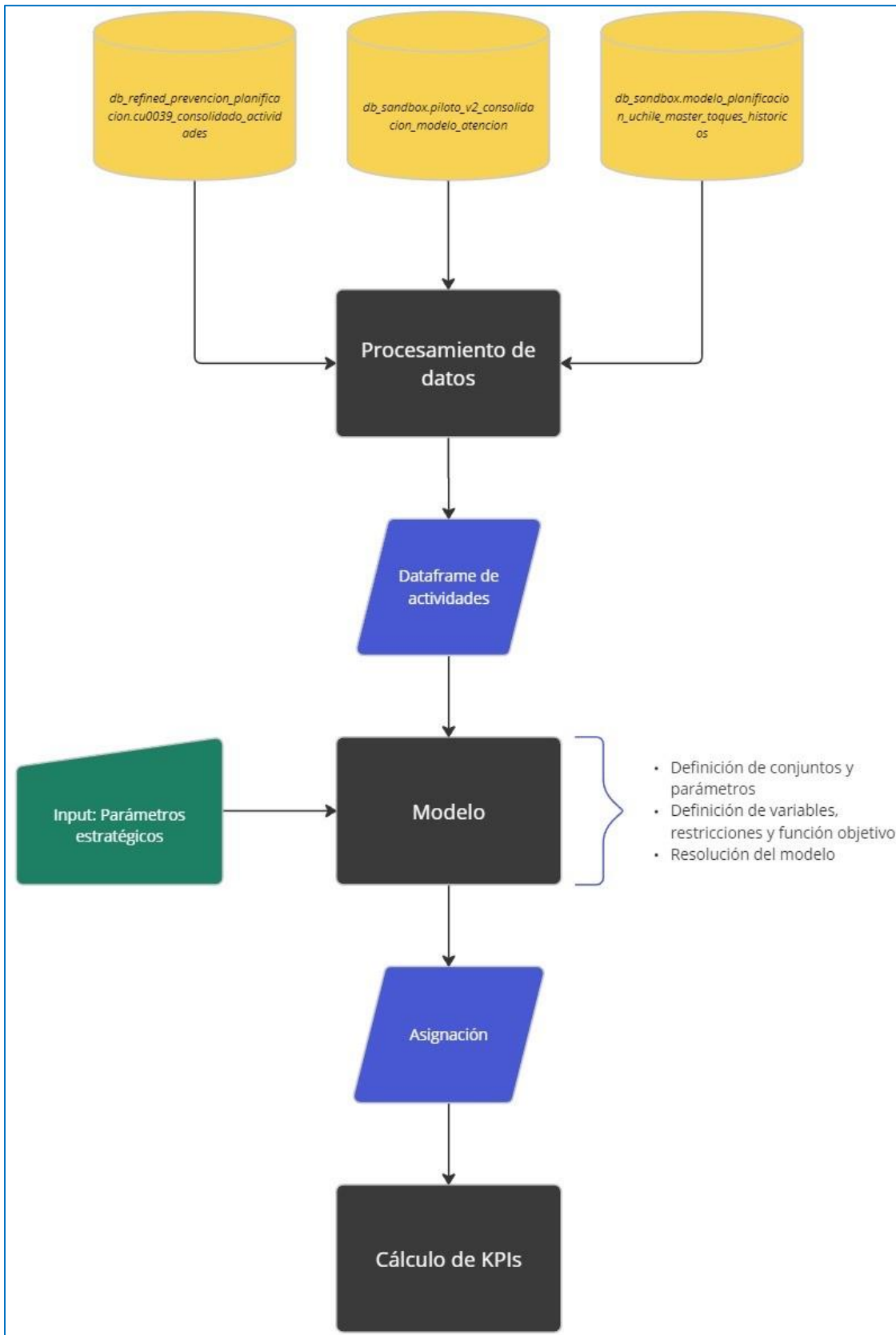


Figura 2: Diagrama del proceso de implementación del modelo de optimización.

E. Desempeño y comparación de modelos

La implementación de los modelos con la información disponible y decisiones sobre los parámetros generó resultados a nivel nacional, de agencia y de expertos, que son contrastados con la asignación realizada por el área de Analytics de la ACHS. La comparación efectuada a partir de los principales indicadores de desempeño de los modelos (M1 y M2) y tipos de problemas (A y B) permitió determinar que la combinación de mejor rendimiento es la 1-A, explicándose las comparaciones mediante los siguientes escenarios:

1. Comparación de problemas tipo A y B mediante el modelo 1.
2. Comparación de los modelos 1 y 2 para problemas tipo A.
3. Comparación de escenarios del caso 1-A.

Se destaca que no se han considerado comparaciones con el escenario 2-B debido a que, para algunas agencias, no es posible obtener soluciones en un tiempo de ejecución inferior a 3 horas. Una alternativa, en caso de que se desee implementar y analizar esta versión del modelo, es modificar el solver, por ejemplo, utilizando Gurobi que tiene un mejor rendimiento que CBC (PuLp).

Con los resultados obtenidos de las comparaciones que se mencionan anteriormente, el modelo M1-A se redefine para considerar un nuevo factor β_t , que aumenta el peso relativo de la importancia de tareas de un determinado ranking ($\beta_t \cdot \gamma_I$). Específicamente, permite asegurar la asignación de tareas de cierta importancia que se desean hacer obligatorias, siempre que la disponibilidad de los expertos lo permita. El efecto de este ponderador y su uso se describe mediante los siguientes casos:

4. Comparación de escenarios del caso 1-A beta.

Para las comparaciones siguientes este modelo redefinido se le denomina como 1-A, en vez de 1-A beta tras aceptarse directamente la inclusión del nuevo ponderador. Posteriormente, se reconoció la necesidad de incorporar la cobertura de sucursales y casas matrices, por lo que el modelo M1-A evoluciona a la versión M3 (implícitamente corresponde a M3-A, ya que se descarta desarmar las carteras originales tras las comparaciones anteriores, no existiendo una versión M3-B). Para evidenciar el efecto de la inclusión de la cobertura, se realizaron también las siguientes comparaciones:

5. Comparación de modelos M1-A y M3.
6. Generación de múltiples escenarios para M3 a partir de distintos pesos relativos de los componentes de la función objetivo.

Los resultados de las distintas comparaciones se detallan a continuación:

E1. Comparación de problemas tipo A y B mediante el modelo 1

Para comparar estos tipos de problemas, se ha decidido asignar $\gamma_C=0.1$ ($\gamma_I=0.9$) con el propósito de considerar una mayor relevancia para la importancia de los lineamientos por sobre la criticidad de las sucursales, tal como ocurre actualmente en la ACHS.

a) *Número de tareas asignadas a nivel nacional*

El modelo 1 permite obtener un número de tareas asignadas similar a lo calculado por la ACHS para los problemas tipo A y B, tal como se observa en la Figura 3. Particularmente, el número de tareas

asignadas en el caso A supera en 50 a lo obtenido por la ACHS, a partir de una asignación eficiente en base a los criterios de distribución de tareas respecto a la importancia de lineamientos y criticidad de sucursales.

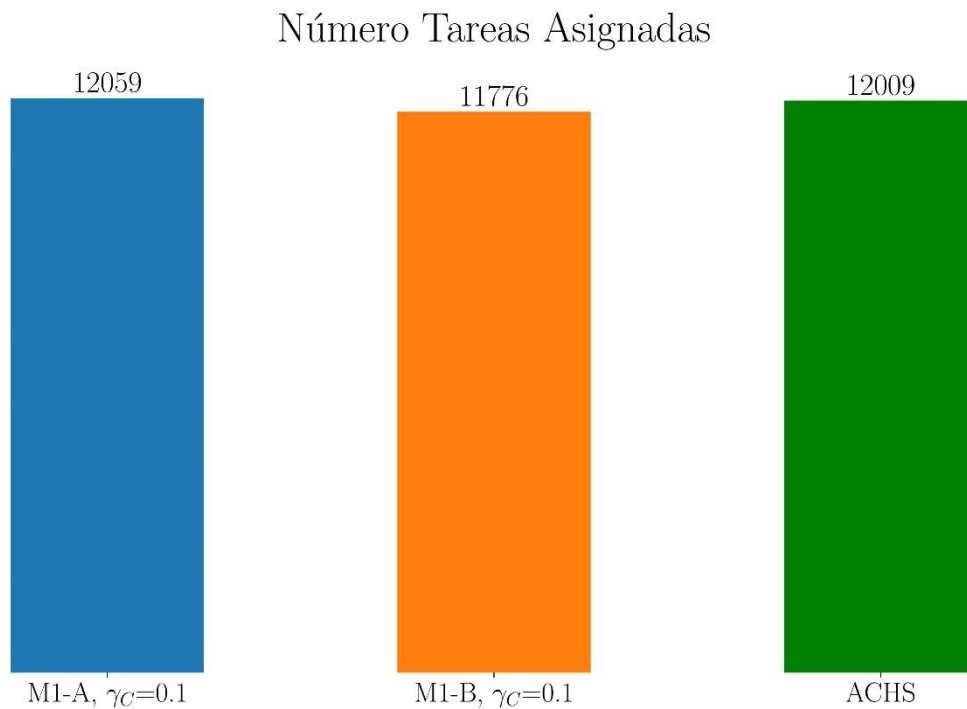


Figura 3: Número de tareas asignadas a nivel nacional (KPI_{nm}) usando el modelo MI ($\gamma_C=0.1$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas) y B (Carteras Propuestas), contrastado con la asignación de la ACHS.

b) Tasa de tareas asignadas a nivel nacional

Relacionado directamente con el indicador anterior, se aprecia en la Figura 4 que la asignación en los tres escenarios alcanza valores similares y en torno al 22%, precisando que la mayor asignación relativa de tareas se produce en el caso A. Considerando que el problema tipo B permite una mayor flexibilidad, se hubiera esperado que alcanzara un mayor número (y tasa) de tareas. Una de las principales razones para que esto no ocurriera, se debe a que la solución obtenida es la determinada por el solver tras alcanzar el tiempo máximo definido, producto del alto número de variables y combinaciones generadas que representan la flexibilidad de decisiones del modelo, ocasionando que la solución se ajuste a la mejor opción entera (variables discretas) que fuese factible en ese lapso (600 segundos). Tal como se había adelantado para el caso 2-B, se podrían explorar otros solver que sean capaces de encontrar una solución en un menor tiempo, lo que se espera que pueda influir también en la calidad de la solución del escenario 1-B.

Tasa Tareas Asignadas

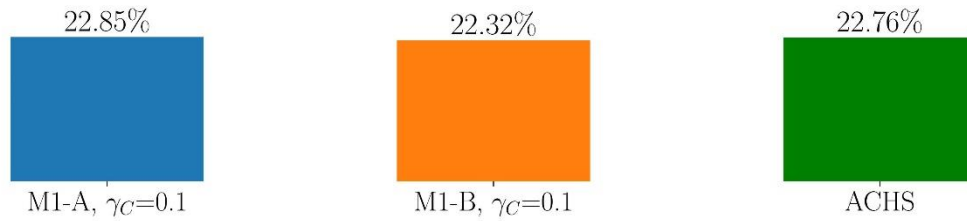


Figura 4: Tasa de tareas asignadas a nivel nacional (KPI_{tm}) usando el modelo MI ($\gamma_C=0.1$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas) y B (Carteras Propuestas), contrastado con la asignación de la ACHS.

c) Tasa de ocupación (tiempo) a nivel nacional

En contraste con los indicadores previos, se observa en la Figura 5 que tanto el caso A como B tienen una menor asignación de tiempo de los expertos que lo obtenido por la ACHS. Para comprender el efecto de este KPI, es necesario relacionarlo con el número o tasa de asignación de tareas, ya que una mayor ocupación no necesariamente implica que se esté usando mejor el tiempo de los expertos. Particularmente, se reconoce que el caso A tiene un mayor número de tareas asignadas en un menor tiempo que la situación actual en la ACHS, por lo que aún existe un margen de mejora en relación con el tiempo disponible para añadir nuevas actividades.

Aumentar el porcentaje de ocupación en el caso 1-A requeriría mayormente la posibilidad de asignar tareas de otras carteras, dado que aún hay tiempo disponible. Sin embargo, precisamente esa posibilidad existe en el caso 1-B, pero el aumento de variables en el problema de optimización no permite obtener, en un tiempo razonable, una mejor solución entera que lo determinado en el escenario 1-A. De esta forma, se presume que una eventual mejora en la capacidad computacional sería necesaria para permitir un mayor uso del tiempo de los expertos.

Tasa Ocupación Tiempo

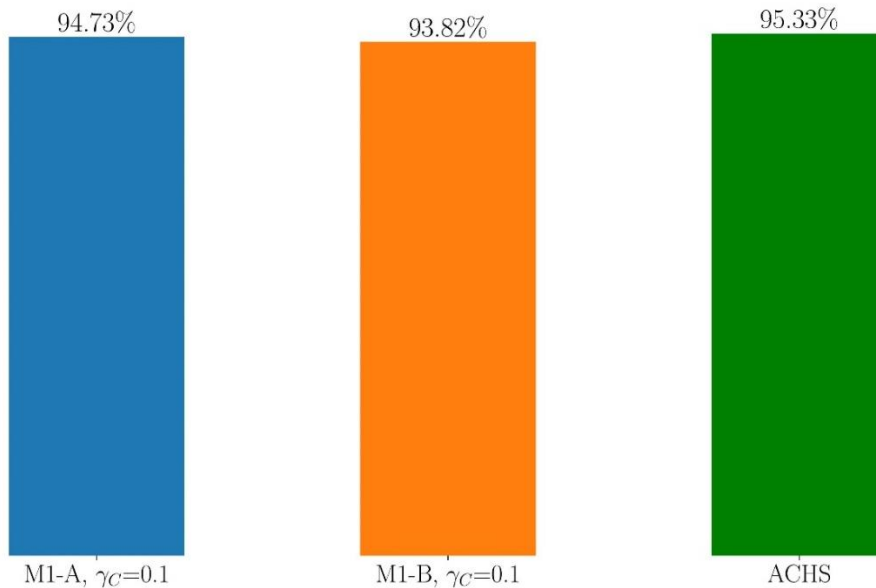


Figura 5: Tasa de ocupación (tiempo) a nivel nacional (KPI_{om}) usando el modelo MI ($\gamma_C=0.1$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas) y B (Carteras Propuestas), contrastado con la asignación de la ACHS.

d) *Tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos*

Las tareas a asignar pertenecen a diferentes lineamientos, cada uno con su correspondiente importancia. Considerando que los de mayor relevancia se asocian con un ranking menor, en la Figura 6 se esperaría que los mejores modelos sean aquellos con una mayor tasa en los valores a la izquierda del gráfico, debido a la priorización de la importancia de los lineamientos por sobre la criticidad de las sucursales. Particularmente, se observa que el caso 1-A y lo obtenido por la ACHS presentan un comportamiento similar, siendo ambas opciones mejores que el 1-B para este KPI.

Se espera que una elección diferente del peso relativo de la criticidad y, por ende, de la importancia de los lineamientos, genere una distribución distinta. Específicamente, un mayor peso en la criticidad generaría una mayor tasa hacia la derecha del gráfico. El efecto de los cambios en las importancias relativas de la función objetivo se analizará más adelante en este documento.

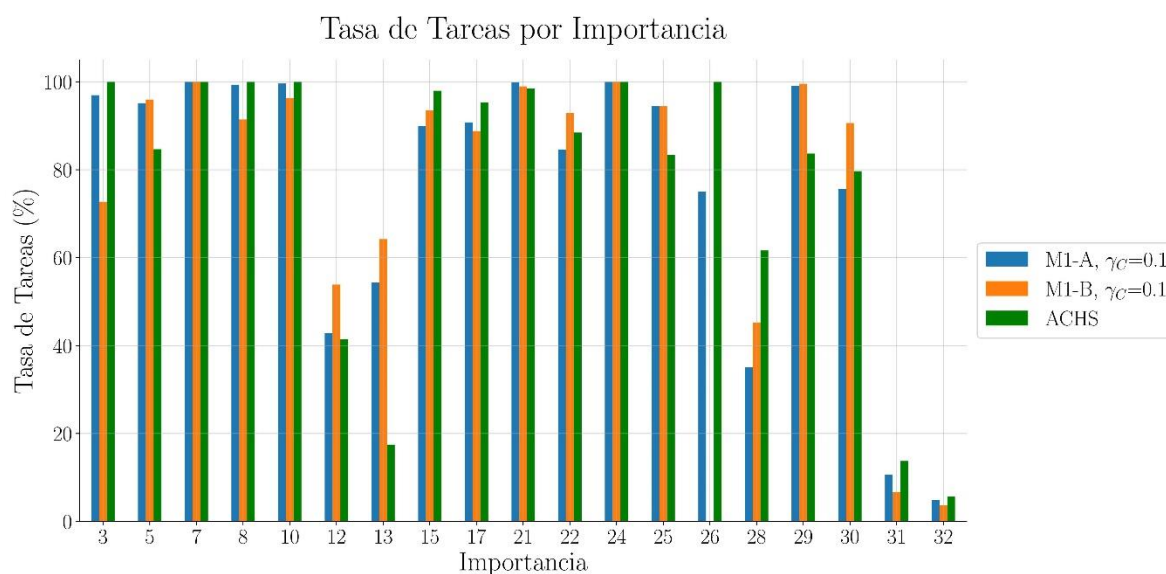


Figura 6: Tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos (KPI_{In}) usando el modelo MI ($\gamma_C=0.1$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas) y B (Carteras Propuestas), contrastado con la asignación de la ACHS.

e) *Número de tareas asignadas por experto*

Realizando un análisis a nivel de expertos, se reconoce en la Figura 7 que el promedio de tareas que se distribuye para cada uno a nivel nacional es similar en los tres casos, siendo el de mayor asignación el 1-A, derivado de lo observado en los indicadores anteriores. Respecto al mínimo, corresponde al mismo valor debido a que existe un experto con una sola tarea que siempre se asigna. En relación al máximo, la flexibilidad de modificar las carteras permite que el modelo 1-B logre un mayor valor que los otros escenarios.

Si uno de los propósitos estratégicos de la ACHS consistiera en generar asignaciones equitativas, se podría considerar que el modelo 1-B no cumpliría con aquel propósito por la gran diferencia entre el valor máximo y el promedio (y con el caso particular del mínimo). De todas formas, se debe destacar que para analizar asignaciones equitativas sería conveniente explorar también la ocupación de tiempo por experto, ya que un mayor número de tareas no significa directamente una mayor ocupación.

Número Tareas Asignadas Experto

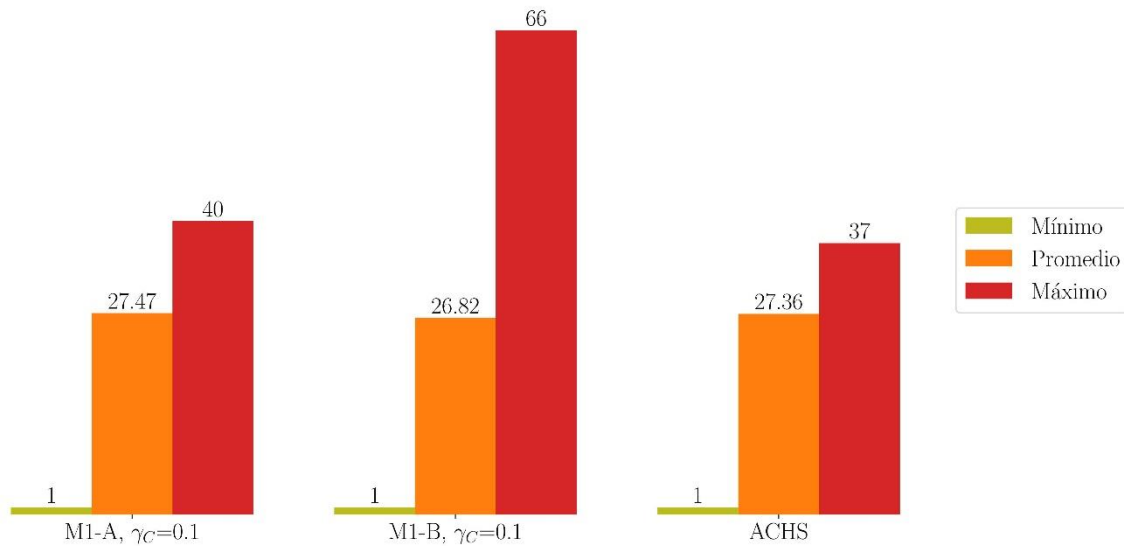


Figura 7: Número de tareas asignadas por experto (KPI_{ta}) usando el modelo M1 ($\gamma_C=0.1$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas) y B (Carteras Propuestas), contrastado con la asignación de la ACHS.

f) Tasa de asignación de tareas de la cartera original por experto

Al comparar la asignación realizada en relación con las sucursales de la cartera original de cada experto, se observa en la Figura 8 que los valores obtenidos para los casos 1-A y ACHS son similares, tal como se esperaba al mantener ambos escenarios la cartera original. Sin embargo, se destaca que para el caso 1-B la asignación promedio de las tareas de la cartera original alcanza solamente un 2.06%, lo que permitiría cuestionar si la carterización actual es la mejor o se podría actualizar. De todas formas, por la limitación existente en la capacidad computacional no sería recomendable ejecutar con una alta frecuencia el caso 1-B, por lo que las decisiones relacionadas con una nueva carterización se podrían efectuar cada cierto período de tiempo (por ejemplo, un año).

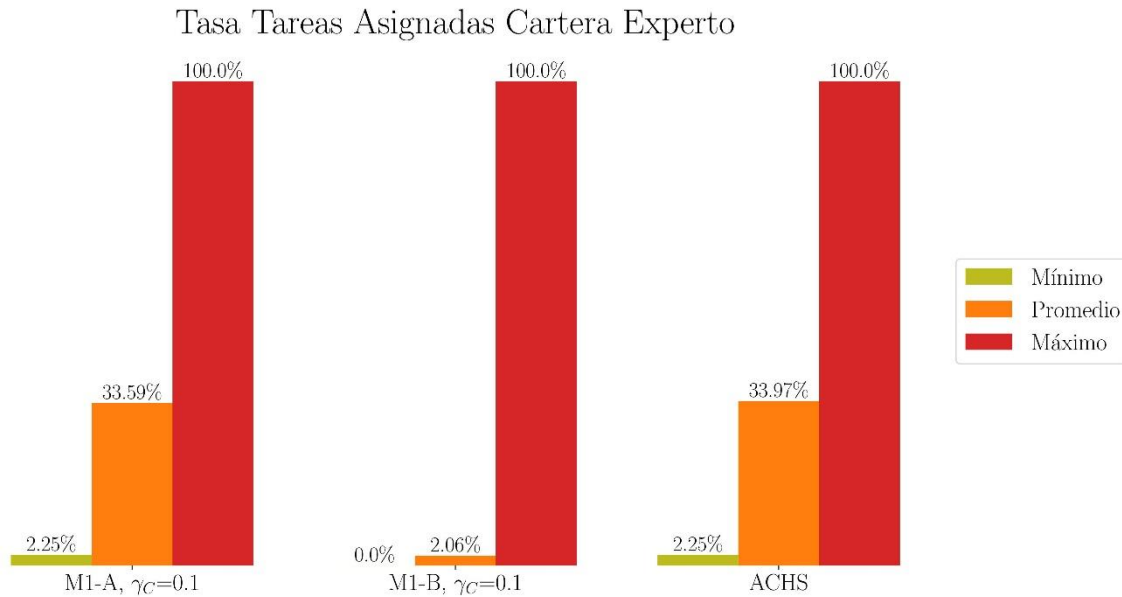


Figura 8: Tasa de asignación de tareas de la cartera original por experto (KPI_{ac}) usando el modelo M1 ($\gamma_C=0.1$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas) y B (Carteras Propuestas), contrastado con la asignación de la ACHS.

g) Conclusiones parciales de la comparación de problemas tipo A y B mediante el modelo 1

A partir de los resultados anteriores, se destaca que el problema tipo A presenta un mejor rendimiento que el tipo B y la asignación de la ACHS. Particularmente, el modelo 1-B permite reconocer una oportunidad de mejora en relación con la generación de una nueva caracterización. Sin embargo, por las limitaciones computacionales y por la opinión de los expertos, se recomienda que las carteras de los expertos se modifiquen con una baja frecuencia. Esto permitiría ejecutar el problema de optimización y eventuales nuevos escenarios con un tiempo límite alto, o mediante otros solver de mejor rendimiento (Gurobi, por ejemplo), además de minimizar cambios en la percepción de los expertos. Al no variar las capacidades computacionales en este proyecto, buscando realizar comparaciones entre modelos en tiempos razonables, se desestimarán los casos tipo B.

A continuación, se compararán los modelos 1 y 2 para los casos tipo A.

E2. Comparación de los modelos 1 y 2 para problemas tipo A

El modelo 2 resulta altamente exigente en la distribución de actividades si se requiere un alto porcentaje de asignación de tareas de mayor importancia (r_i). Para ilustrar esta situación, las siguientes comparaciones consideran $r_i=1, \forall i \in I$. Para que el modelo 1 pueda ser contrastado con el valor escogido para r_i , se decide considerar $\gamma_C=0.01$ ($\gamma_I=0.99$), otorgando una prioridad prácticamente completa a la importancia de los lineamientos de las tareas. Se descarta el valor nulo de γ_C para que el modelo pueda priorizar entre tareas de diferente criticidad, aunque será un criterio de menor relevancia frente a los lineamientos de las tareas respectivas.

a) Número de tareas asignadas a nivel nacional

Al igual que en la sección anterior, el modelo 1-A asigna un número de tareas similar a lo efectuado por la ACHS, aunque en esta ocasión es inferior al emplear un valor diferente de γ_C , según se ilustra en la Figura 9. Por el contrario, el modelo 2-A distribuye alrededor de 10000 tareas menos que los

otros casos, ocasionándose por la limitación que genera el parámetro r_i . Específicamente, este parámetro condiciona la asignación de tareas de lineamientos con menor importancia, por lo que, si para alguna importancia específica no se logran asignar todas las tareas, ya no es posible distribuir las de importancia menor pese a que exista tiempo disponible de los expertos.

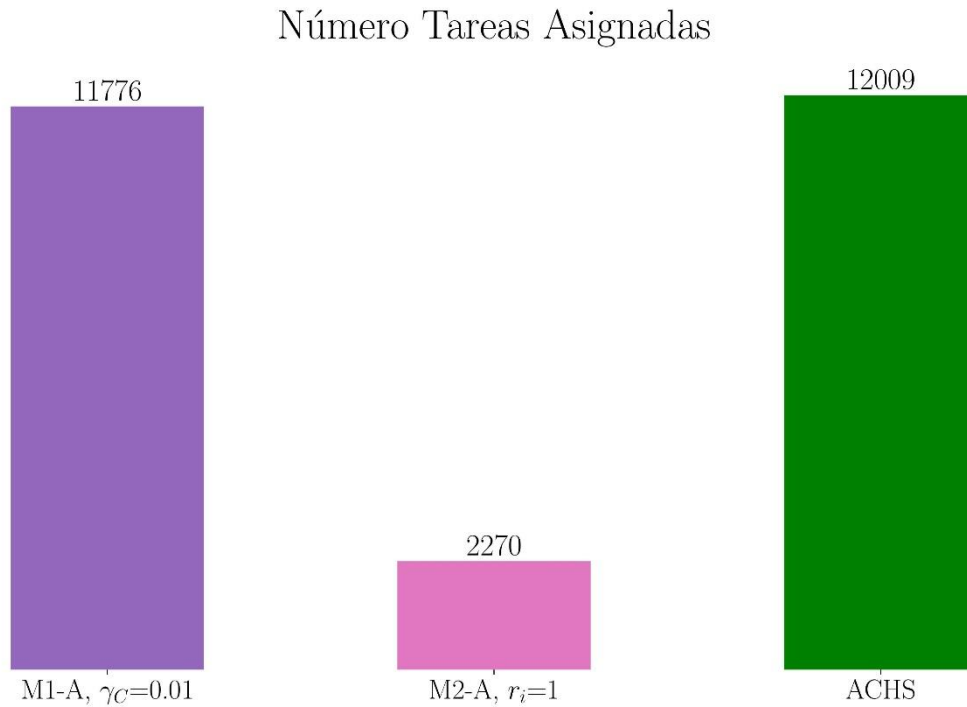


Figura 9: Número de tareas asignadas a nivel nacional (KPI_{nn}) usando los modelos M1 ($\gamma_C=0.01$) y M2 ($r_i=1, \forall i \in I$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

b) Tasa de tareas asignadas a nivel nacional

Como implicancia del número de tareas, se observa también la diferencia en la tasa de asignación de la Figura 10. Específicamente, permite observar que la asignación máxima es inferior al 23%, por lo que existe un gran porcentaje de tareas que no es posible de distribuir en el mes. De esta forma, se representa la importancia de asignar las tareas de mayor relevancia según las decisiones estratégicas de la ACHS.

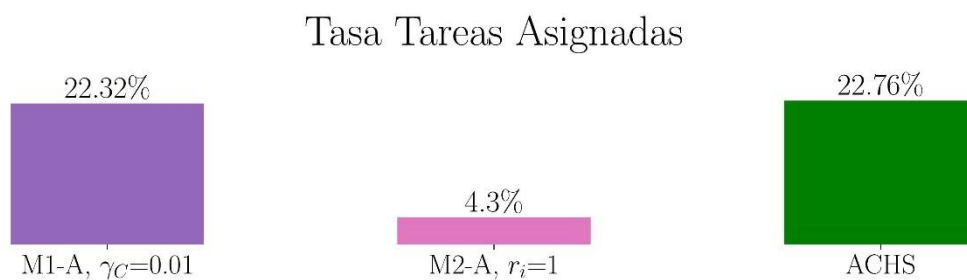


Figura 10: Tasa de tareas asignadas a nivel nacional (KPI_{tn}) usando los modelos M1 ($\gamma_C=0.01$) y M2 ($r_i=1, \forall i \in I$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

c) Tasa de ocupación (tiempo) a nivel nacional

Como se esperaba, el modelo 2-A muestra en la Figura 11 que existe aún un porcentaje de tiempo disponible sobre el 77% para ser empleado en las tareas de los expertos, pero que no se asigna por no cubrir el total de las tareas de mayor relevancia según lo impuesto mediante el parámetro r_i . Por el contrario, los casos 1-A y ACHS sí utilizan la mayor parte del tiempo disponible de los expertos, entregando resultados similares entre sí.

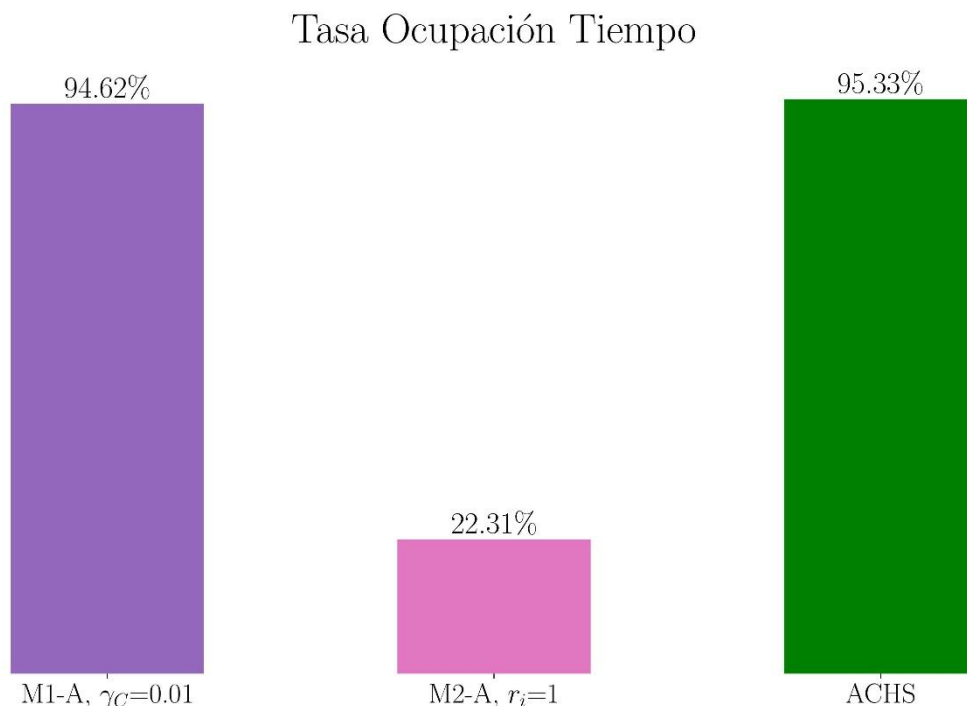


Figura 11: Tasa de ocupación (tiempo) a nivel nacional (KPI_{on}) usando los modelos M1 ($\gamma_C=0.01$) y M2 ($r_i=1, \forall i \in I$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

d) Tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos

El efecto del parámetro r_i en la relevancia de las actividades que se asignan se ilustra en la Figura 12, donde se muestra que existe una distribución completa de tareas de lineamientos de importancia igual o menor a 10 para el modelo 2-A, mientras que solo se completa una parte de importancia 12 y 13, para luego no asignar de ranking superior. Como el indicador es de carácter nacional, se observa un bajo porcentaje de importancia 13, ya que solo algunas agencias logran realizar el 100% de las tareas de importancia 12 y alcanzan a efectuar una fracción de las de importancia 13.

En contraste a los resultados del modelo 2-A, el modelo 1-A y el utilizado actualmente en la ACHS no cuenta con la limitación del parámetro r_i , por lo que pueden asignar tareas de ranking de mayor importancia. Específicamente, se observa que el modelo 1-A presenta una mayor tasa de asignación para tareas de mayor relevancia, ocurriendo lo contrario en las de menor importancia (mayor ranking) donde la ACHS asigna con una mayor tasa.



Figura 12: Tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos (KPI_{Im}) usando los modelos M1 ($\gamma_C=0.01$) y M2 ($r_i=1, \forall i \in I$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

e) Conclusiones parciales de la comparación de los modelos 1 y 2 para problemas tipo A

La mayor diferencia entre los modelos radica en la existencia de restricciones que limitan la asignación de tareas de menor relevancia en el caso 2-A, razón por la que no se logra utilizar eficientemente el tiempo disponible de los expertos. Como presenta un bajo rendimiento en los indicadores, por lo exigente de la limitación del parámetro (r_i), se recomienda descartar esta formulación en la asignación de tareas mensuales.

Comparando los diferentes casos, el modelo 1-A permite mejores asignaciones y con resultados similares a los obtenidos en la ACHS, condicionado al peso relativo de la criticidad (γ_C) en la función objetivo. Específicamente, se observó una leve disminución en el rendimiento del modelo 1-A al emplear $\gamma_C=0.01$ en vez de $\gamma_C=0.1$, utilizado en la sección anterior. Precisamente, para conocer el efecto de este parámetro estratégico, en la siguiente sección se generan diferentes escenarios que serán un insumo en la toma de decisiones de la ACHS en caso de que decidan implementar el modelo 1-A.

E3. Comparación de escenarios del caso 1-A

Las comparaciones anteriores permitieron notar que la combinación que mejor rendimiento presenta es el modelo 1 para problemas tipo A. Es por ello que se procede a analizar distintos escenarios en los parámetros para esta combinación. Específicamente, se analizan los casos $\gamma_C=0.2, \gamma_C=0.4, \gamma_C=0.6, \gamma_C=0.8$ ($\gamma_I=0.8, \gamma_I=0.6, \gamma_I=0.4$ y $\gamma_I=0.2$, respectivamente), contrastados con los resultados de la ACHS. Los valores por utilizar para la planificación corresponderán a una decisión estratégica de la organización, ya que deben definir la prioridad que tengan respecto a la criticidad e importancia.

a) Número de tareas asignadas a nivel nacional

El contraste realizado en las secciones previas permitió reconocer la influencia del parámetro γ_C en la solución obtenida. Específicamente, en la Figura 13 se observa que el número de tareas asignadas

decrece al reducirse el valor de γ_C . Esto se debe a que una disminución en la criticidad origina un aumento en el valor de γ_I , es decir, de la importancia de los lineamientos de las tareas. En consecuencia, el modelo buscará determinar una asignación que incluya cada vez las tareas más relevantes, las que podrían tener incluso una mayor duración (ejecución y traslado), disminuyendo así el número total de tareas que es posible realizar según la disponibilidad de los expertos.

Este tipo de situaciones ilustra la importancia de decidir los pesos de los parámetros de la función objetivo, buscando determinar si es preferible realizar un número mayor de tareas o aquellas de mayor importancia.

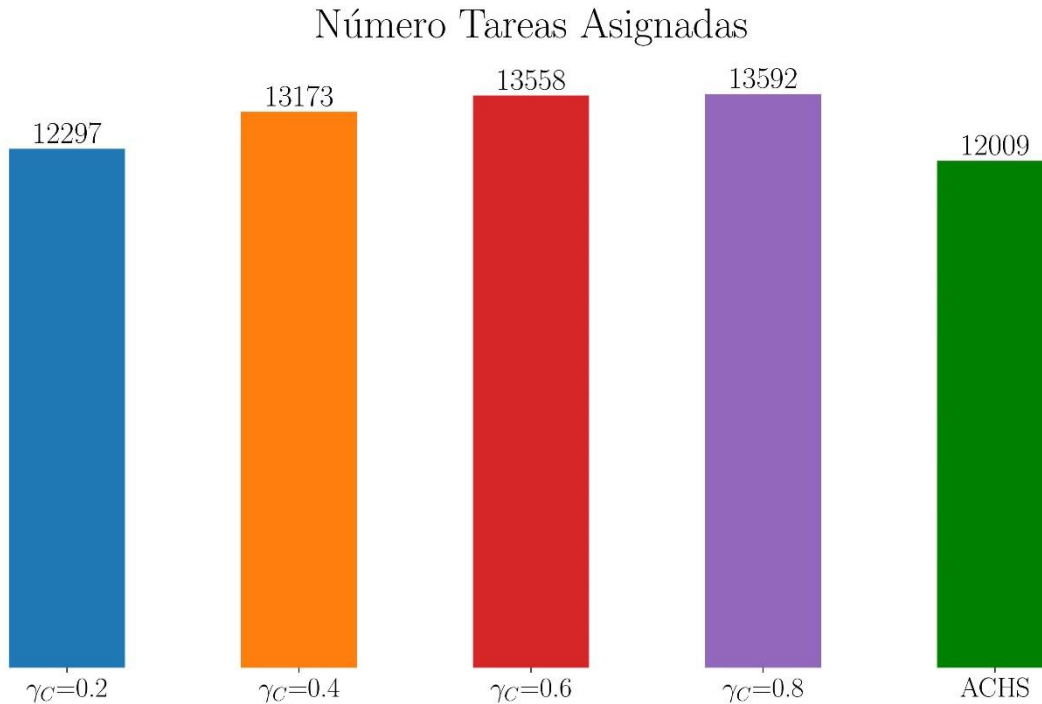


Figura 13: Número de tareas asignadas a nivel nacional (KPI_{nn}) usando el modelo MI ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

b) Tasa de tareas asignadas a nivel nacional

Debido a la relación directa entre este indicador y el anterior, en la Figura 14 también se observa el decrecimiento en el número de tareas asignadas al disminuir γ_C . Este gráfico también permite observar que con un peso igual o superior a 0.6 en la criticidad, es posible lograr una asignación superior al 25% del total de tareas, siendo un valor que no se ha observado con otras combinaciones de pesos de los parámetros de la función objetivo y que podría influir en las decisiones de cobertura de sucursales.

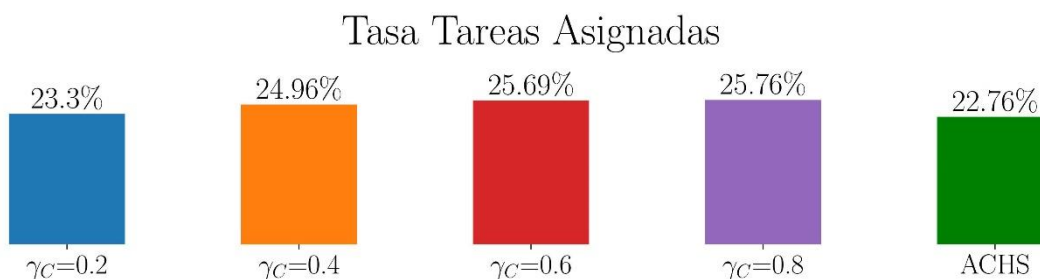


Figura 14: Tasa de tareas asignadas a nivel nacional (KPI_{an}) usando el modelo MI ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

c) Tasa de ocupación (tiempo) a nivel nacional

Respecto a la ocupación de los expertos, en la Figura 15 se aprecia que los cuatro escenarios de γ_C alcanzan valores inferiores a la ACHS, pese a que realizan un número mayor de tareas. Es decir, se estaría logrando alcanzar un mayor número de tareas en un tiempo inferior, generándose un margen de mejora al existir tiempo disponible para efectuar más actividades.

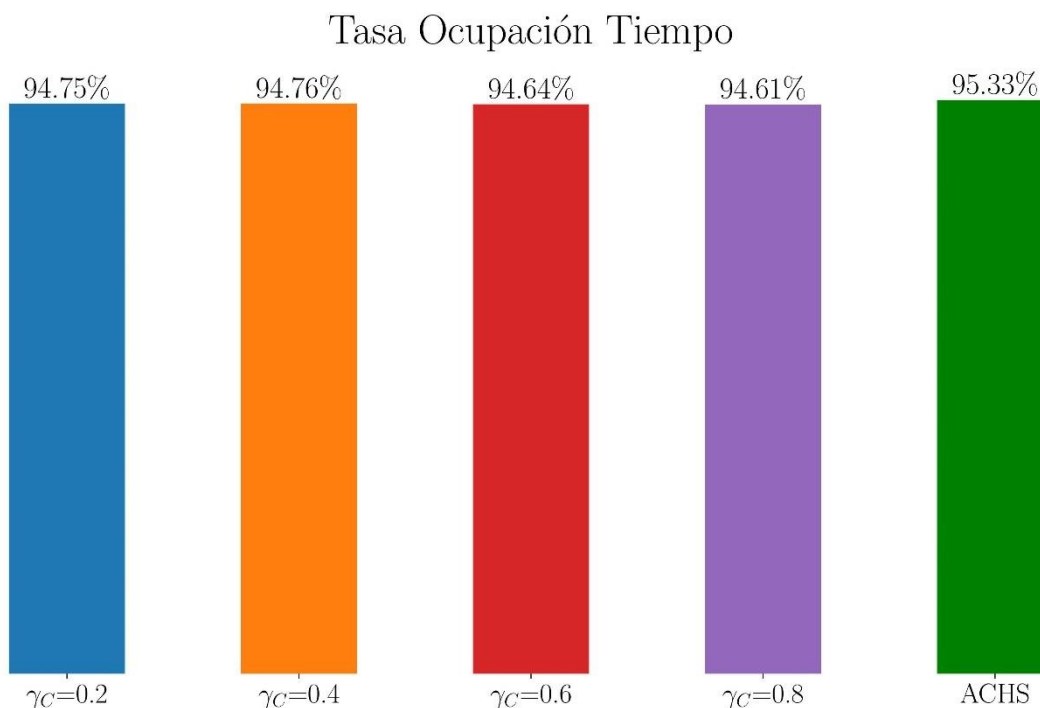


Figura 15: Tasa de ocupación (tiempo) a nivel nacional (KPI_{on}) usando el modelo MI ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

d) Tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos

Tal como se esperaba, un mayor valor de γ_C origina que se asignen tareas de menor importancia que para valores inferiores de este parámetro, según lo observado en la Figura 16. Específicamente, se observa que para $\gamma_C=0.2$ se obtiene una distribución de tareas similar a la ACHS, considerando que en ambos casos privilegian mayormente la importancia de los lineamientos por sobre la criticidad de las sucursales.

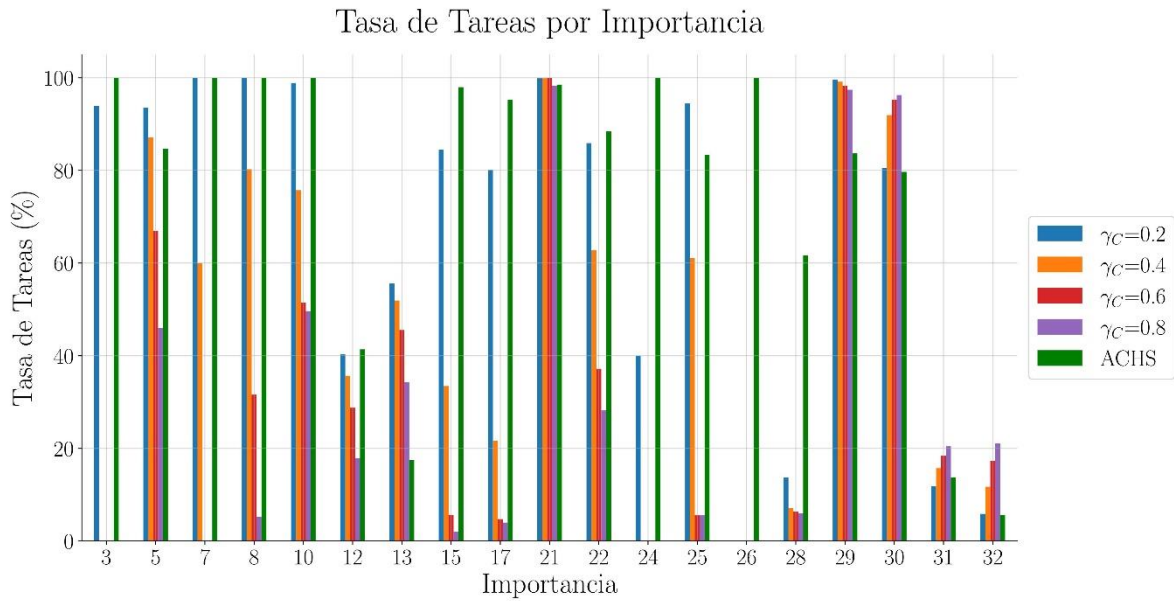


Figura 16: Tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos (KPI_{ln}) usando el modelo M1 ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

e) *Número de sucursales según el número de tareas asignadas de cada una a nivel nacional*

Relacionado con el número de tareas que se efectúan, se observa en la Figura 17 que una disminución en el valor de γ_C conlleva un aumento de sucursales que no se visitan. Se observa también que se logran valores similares entre los otros escenarios que disminuyen el peso de criticidad y lo asignado por la ACHS, por lo que una mayor relevancia a la importancia de las tareas (γ_I) representa mejor la situación actual. Adicionalmente se destaca que la mayoría de las sucursales visitadas consideraron la realización de una sola tarea (sobre 10000 sucursales), repitiéndose sucursales en un número inferior en órdenes de magnitud.

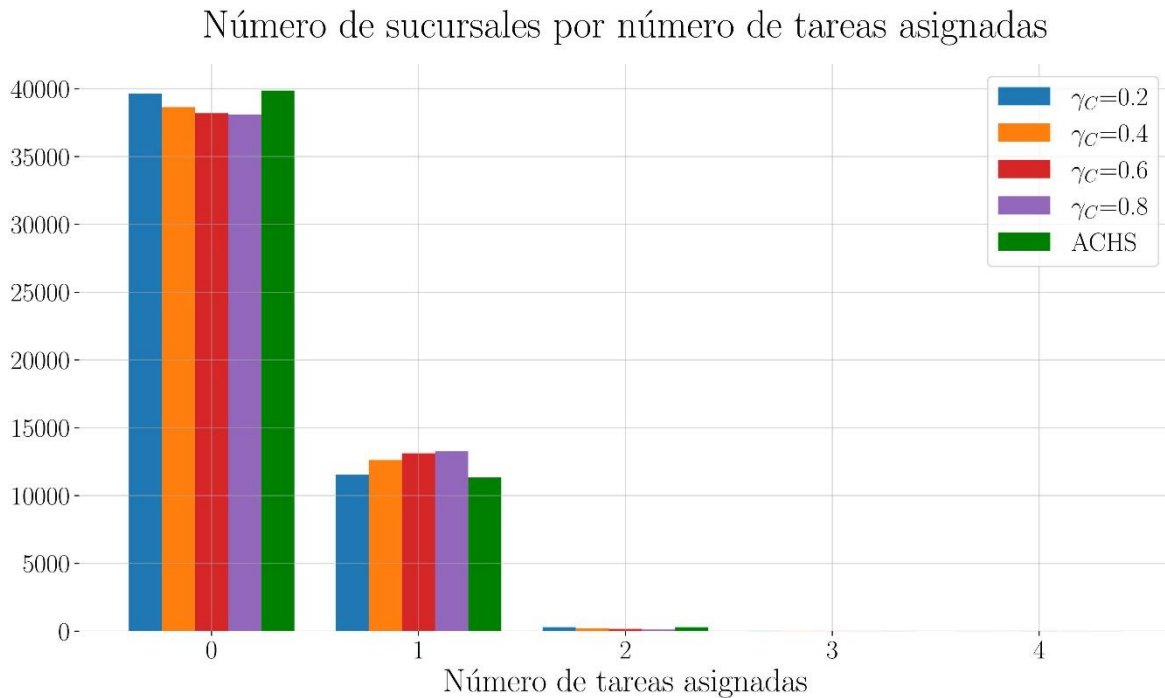


Figura 17 Número de sucursales según el número de tareas asignadas de cada una a nivel nacional (KPI_{sn}) usando el modelo MI ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

f) Tasa de sucursales con un toque planificado según cada subsegmento a nivel nacional

En el indicador anterior se observó que casi la totalidad de tareas se realizaron en sucursales diferentes, lo que se puede interpretar como los toques efectuados por los expertos. Para comprender cómo se distribuyen aquellos toques por subsegmento de las sucursales, se genera el histograma de la Figura 18, donde se aprecia nuevamente un comportamiento aproximadamente similar para los casos $\gamma_C=0.2$ y ACHS, mientras que el mayor contraste se produce entre estos y el escenario $\gamma_C=0.8$.

Por el momento no se está considerando algún criterio que busque mejorar la cobertura para determinados subsegmentos directamente, por lo que su incorporación podría permitir discriminar entre los escenarios que sean más favorables según este indicador.

Tasa de Toques Asignados por Subsegmento

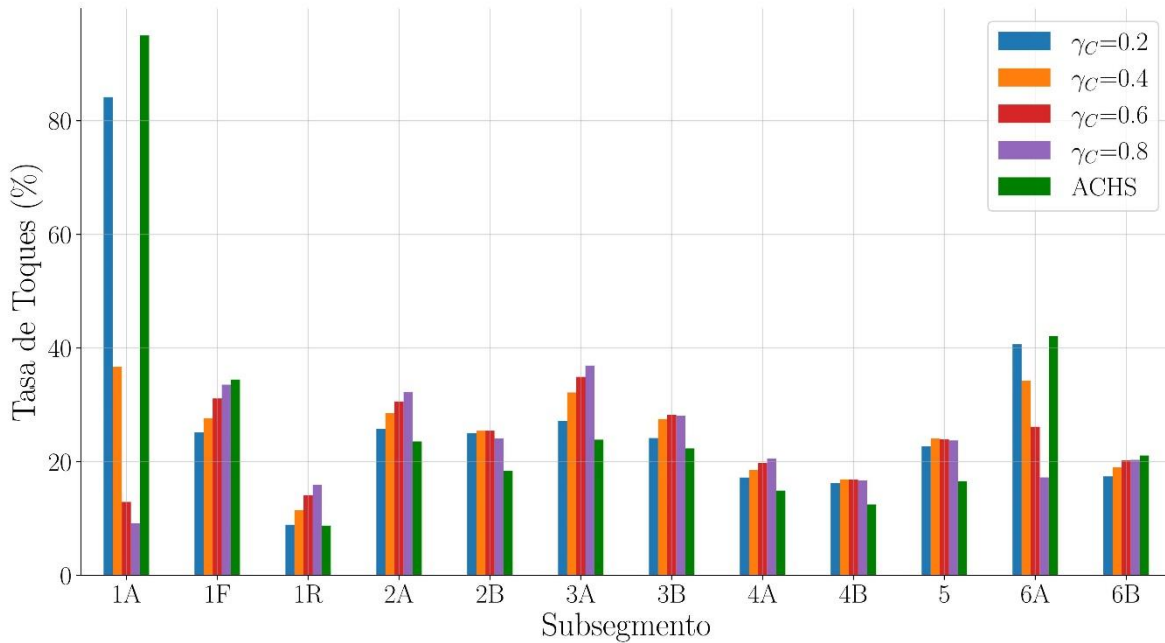


Figura 18: Tasa de sucursales con un toque planificado según cada subsegmento a nivel nacional (KPI_{tn}) usando el modelo M1 ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

g) Tasa de tareas asignadas por agencia

Observando por agencia los resultados anteriores, se nota en la Figura 19 que nuevamente los valores inferiores de γ_C presentan un comportamiento similar a la asignación actual de la ACHS. Se destaca que el modelo se resuelve por cada agencia, es decir, se ejecutan 30 problemas de optimización por escenario, por lo que se descarta la influencia de los resultados de unas agencias sobre otras, permitiendo concluir que los análisis previos sobre similitudes y discrepancias entre escenarios son consistentes a nivel de agencia. Un caso particular corresponde a la agencia “Ruta del Sol”, la que posee solo un experto y una tarea, razón por la que logra una asignación completa.

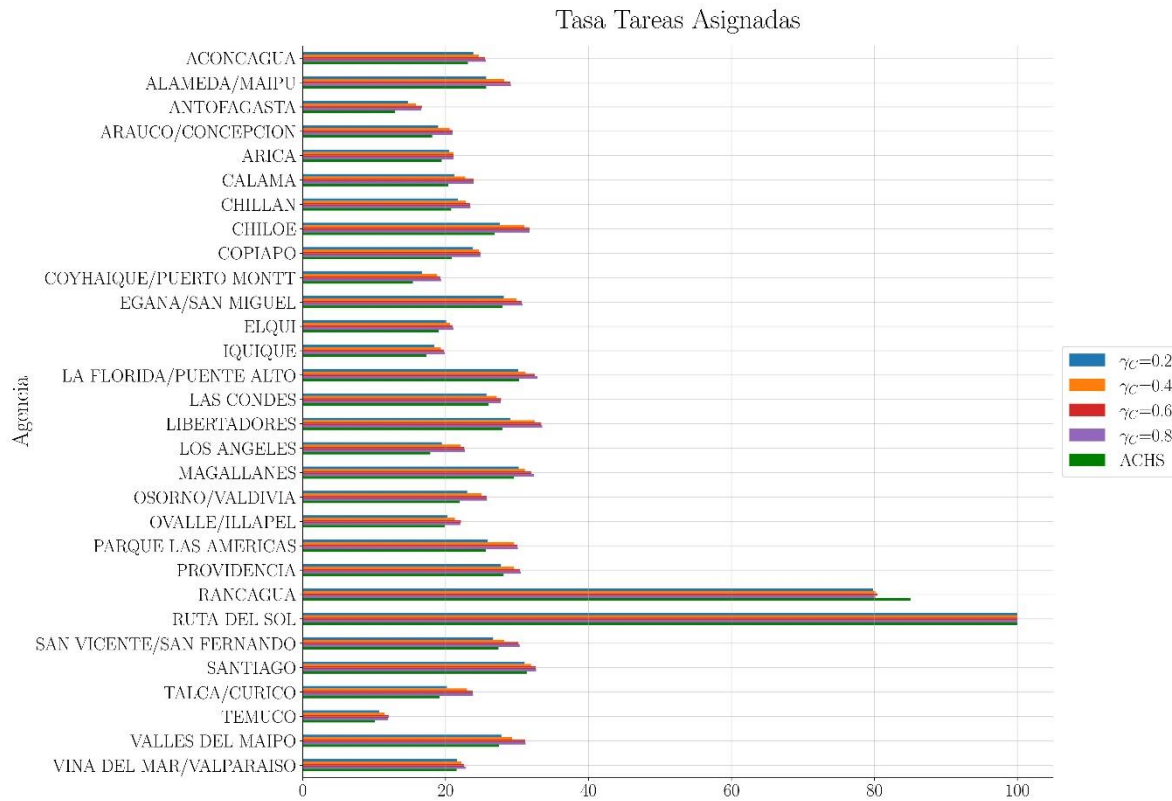


Figura 19: Tasa de tareas asignadas por agencia (KPI_{aa}) usando el modelo M1 ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

h) Tasa de ocupación (tiempo) por agencia

Con relación al tiempo utilizado para efectuar las tareas comentadas en el indicador previo, se observa en la Figura 20 que en la mayoría de las agencias se logra una ocupación de tiempo cercana al promedio a nivel nacional. No se observan grandes diferencias entre los modelos, ya que el mayor contraste se reflejó en los indicadores asociados al número de tareas y qué tan importantes eran, por sobre el tiempo que requerían en aquellas distribuciones.

Nuevamente se destaca el caso particular de “Ruta del Sol”, cuyo bajo número de tareas permite que se realice el 100% empleando menos del 5% de la disponibilidad del experto.

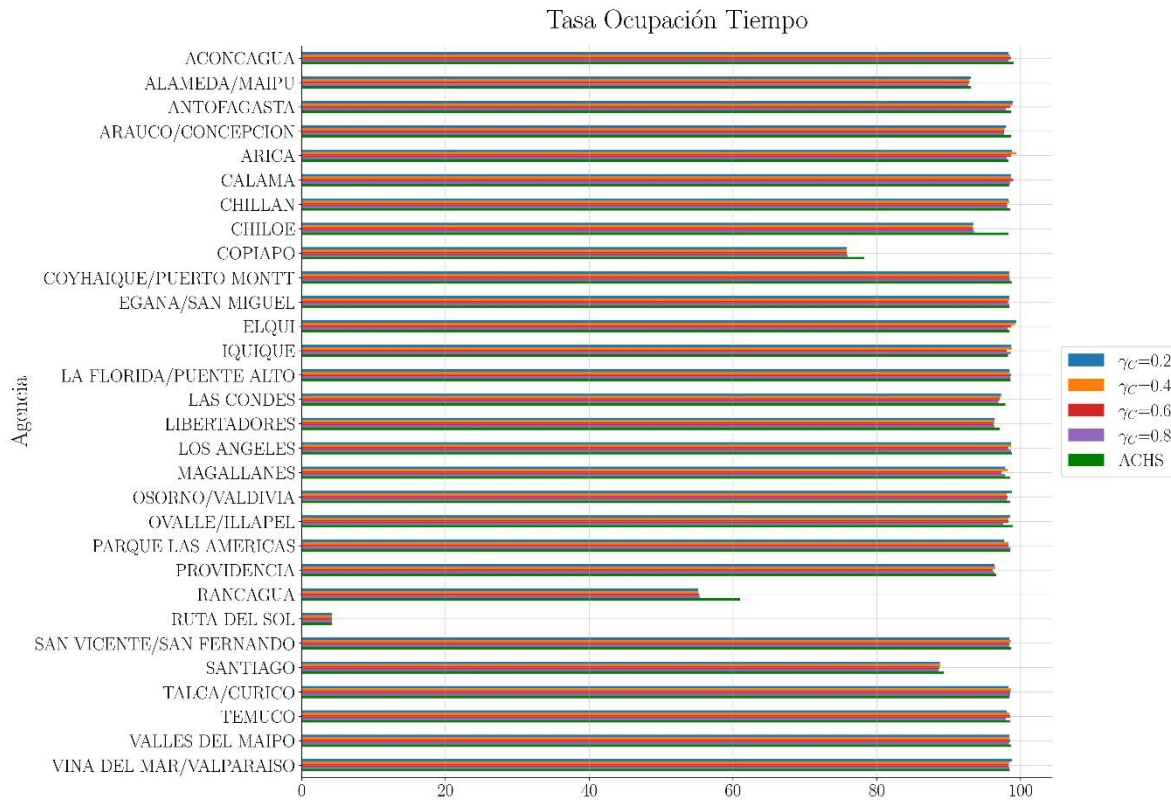


Figura 20: Tasa de ocupación (tiempo) por agencia (KPI_{oa}) usando el modelo M1 ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

i) Número de tareas asignadas por experto

El número de tareas asignadas por experto es similar entre los distintos casos analizados según se aprecia en la Figura 21, siendo superior mientras mayor sea γ_C , concordando con el mayor número de tareas que se distribuyen según los indicadores previos. Sin embargo, la cercanía del número máximo de tareas dista de lo obtenido con anterioridad al analizar el caso 1-B, ya que este tipo de problema permitía reorganizar las carteras. De esta forma, las variaciones de γ_C en el modelo 1-A no generan grandes fluctuaciones al mantener la caracterización original de los expertos, tal como se corrobora con la distribución de la Figura 22. Particularmente, se destaca también que un aumento en γ_C permite una mayor similitud del número de tareas asignadas, según la cercanía del primer y tercer cuartil de los distintos escenarios.

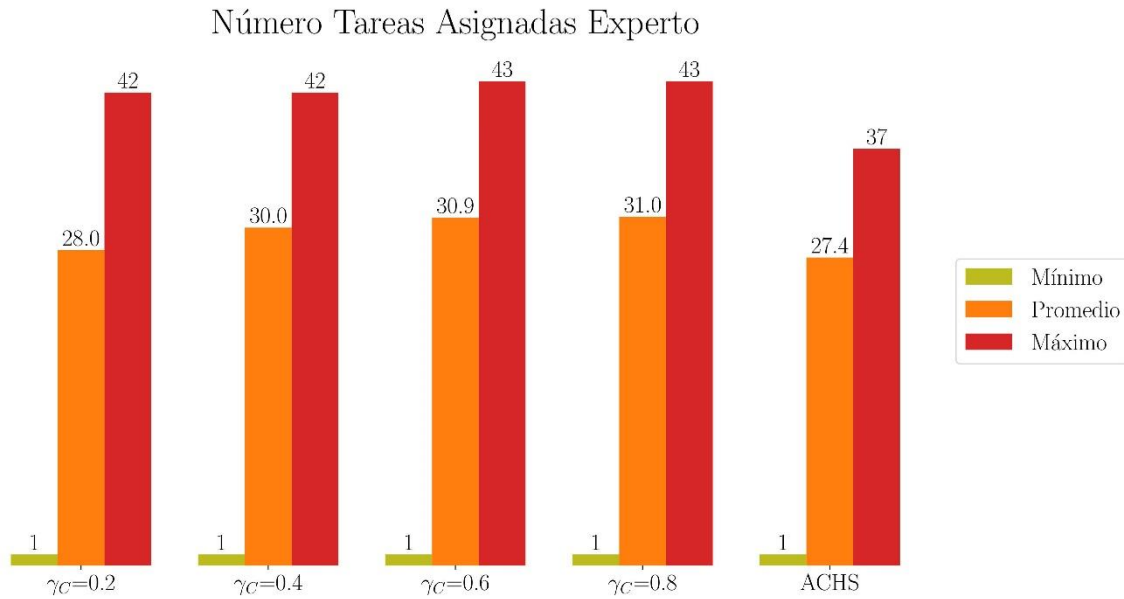


Figura 21: Número de tareas asignadas por experto (KPI_{ta}) usando el modelo M1 ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

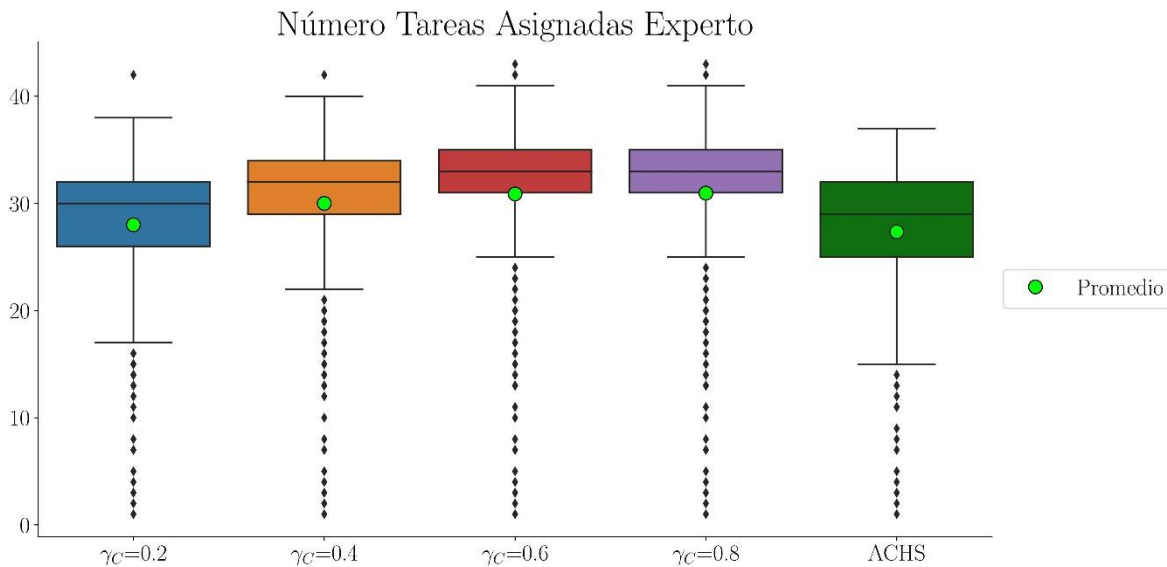


Figura 22: Distribución del número de tareas asignadas por experto (KPI_{ta}) usando el modelo M1 ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

j) Tasa de ocupación (tiempo) por experto

La tasa de ocupación se ha analizado en los indicadores anteriores a nivel nacional y agencia, por lo que en la Figura 23 se observa el comportamiento a nivel de expertos. Específicamente, los resultados a esa escala concuerdan con los anteriores, donde se aprecia que los distintos escenarios del modelo 1-A utilizan un menor tiempo de los expertos para la asignación de tareas, existiendo un margen de mejora al incorporar nuevas tareas a futuro. Específicamente, la distribución de la tasa de ocupación de la Figura 24 permite explicitar que una menor criticidad genera una mayor diferencia entre los valores del primer y tercer cuartil, por lo que el margen de mejora estaría asociado a un conjunto de

expertos en particular. Al igual que en el indicador anterior, el caso mínimo corresponde a la situación particular de la agencia “Ruta del Sol”, donde el bajo número de tareas origina que la tasa de ocupación sea inferior al 5%.

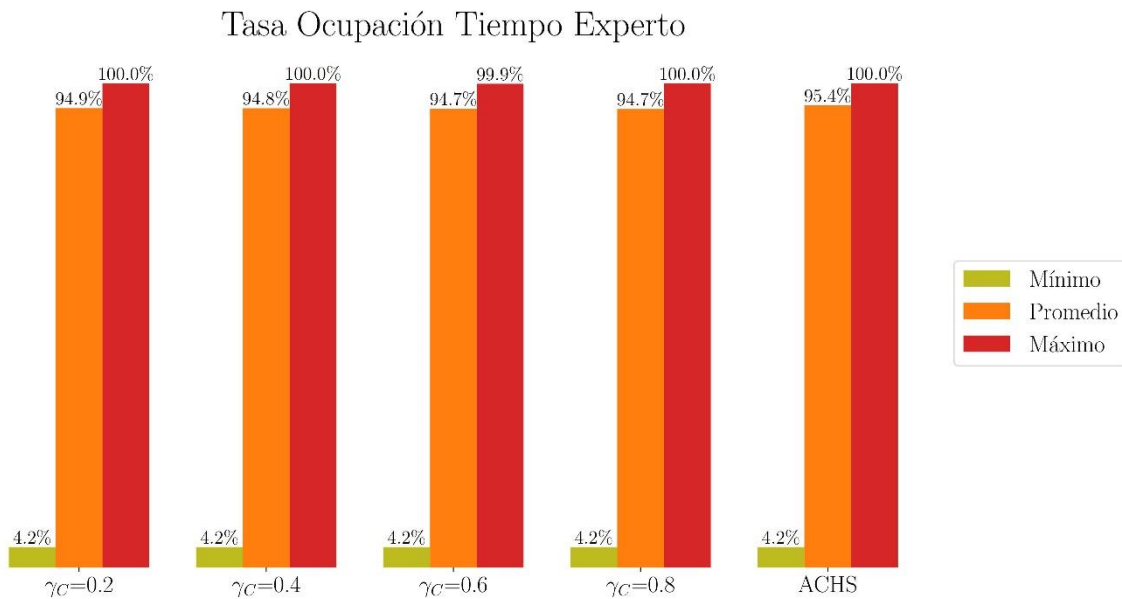


Figura 23: Tasa de ocupación (tiempo) por experto (KPI_{op}) usando el modelo M1 ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

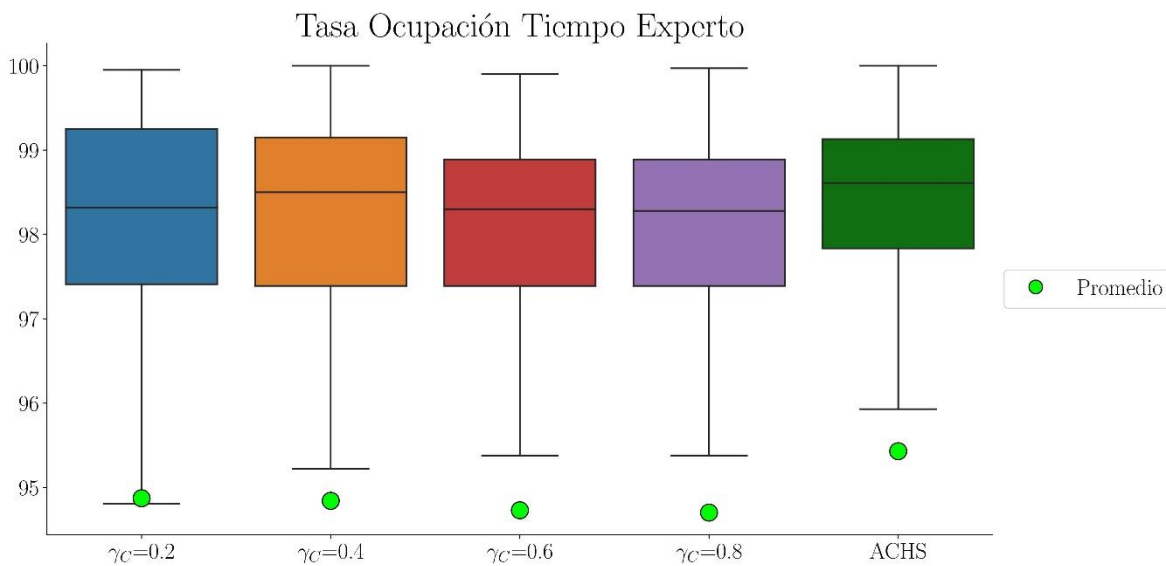


Figura 24: Distribución de la tasa de ocupación (tiempo) por experto (KPI_{op}) usando el modelo M1 ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS. Visualización focalizada en la ubicación de los cuartiles.

k) Tasa de asignación de tareas de la cartera original por experto

A diferencia de los casos tipo B en que se permitía reorganizar las carteras, los modelos tipo A realizan asignaciones en base a la caracterización original. Es por ello que la tasa de tareas asignadas provenientes de la cartera original del experto en los casos estudiados presenta resultados similares a

lo obtenido por la ACHS, según se resume en la Figura 25. De todas formas, como se están asignando un mayor número de tareas, es posible apreciar que en todos los escenarios se supera la tasa promedio de asignación de tareas de la cartera original en contraste con lo obtenido por la ACHS. En la Figura 26 se observa que la distribución de resultados de este KPI tiene un comportamiento similar entre todos los escenarios.

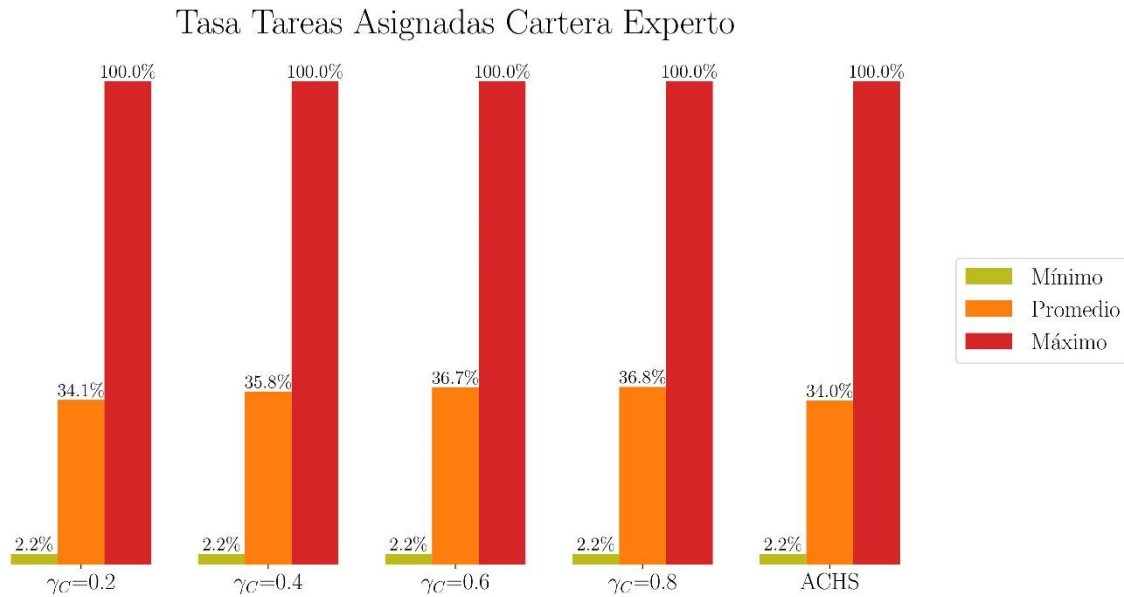


Figura 25: Tasa de asignación de tareas de la cartera original por experto (KPI_{ac}) usando el modelo M1 ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Prestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

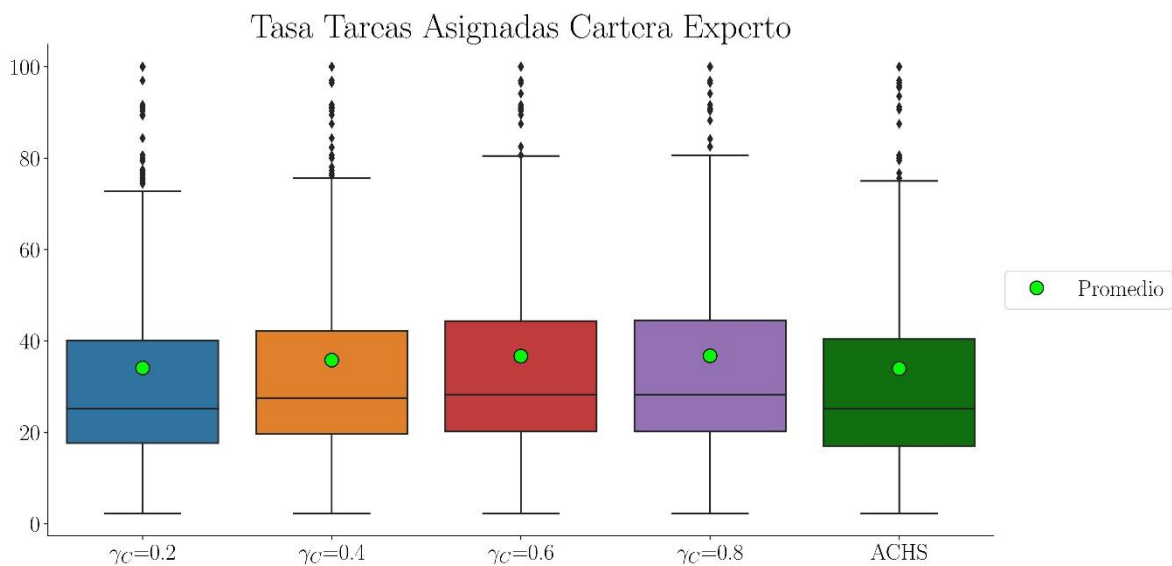


Figura 26: Distribución de la tasa de asignación de tareas de la cartera original por experto (KPI_{ac}) usando el modelo M1 ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Prestablecidas), contrastado con la asignación de la ACHS.

l) Conclusiones parciales de la comparación de escenarios del caso 1-A

Se realizaron comparaciones de distintos escenarios del modelo 1-A generados a partir de modificaciones en el parámetro γ_C , notándose que en la mayoría de los indicadores se obtienen resultados similares para $\gamma_C=0.2$ respecto a la asignación efectuada en la ACHS. En consecuencia, se presume que el modelo actual en la ACHS está privilegiando el peso de la importancia de los lineamientos (γ_I) por sobre el peso de la criticidad (γ_C).

Las variaciones en γ_C permitieron notar que una disminución de aquel parámetro produce un decrecimiento en el número de tareas asignadas, producto de que se aumenta el peso a la importancia de los lineamientos, por lo que se podrían estar asignando tareas más relevantes, pero de mayor duración, generando así una reducción en el total de tareas distribuidas.

Para decidir la mejor combinación de pesos de la criticidad e importancia de lineamientos se debe determinar estratégicamente en la ACHS cuál es el principal criterio para aquella elección. Por ejemplo, si se desea aumentar el número de tareas asignadas, se recomendaría aumentar γ_C . De todas formas, se reconoce que el modelo podría evolucionar para aumentar el número de tareas a partir del crecimiento de γ_C , pero que debería ser capaz de asegurar que se realicen las tareas de algunos lineamientos principales (hasta un determinado ranking), razón por la que se propone y analiza una variación al modelo 1-A en la siguiente sección.

E4. Comparación de escenarios del caso 1-A beta

Con el propósito de asegurar la asignación de tareas de un determinado ranking, sujeto a la disponibilidad de los expertos, se incluye el ponderador β_t que multiplica al peso relativo de la importancia de las tareas (γ_I) en la función objetivo. El valor escogido para el ponderador es 1000, correspondiente al menor valor del mismo orden de magnitud de la función objetivo, buscando que sea lo suficientemente grande para asegurar la asignación de las tareas de ranking igual o inferior a algún i_t , y cuyo valor no sea excesivamente alto como para generar errores numéricos en los cálculos correspondientes. De esta forma, la función objetivo se expresaría de la siguiente manera:

$$\max \sum_{(su,t) \in SUT} \left\{ \gamma_C \cdot \left(\frac{c_{su}}{c_{su}^{max}} \right) + \beta_t \cdot \gamma_I \cdot \left(\frac{i_{max} + 1 - i_t}{i_{max}} \right) \right\} \cdot y_{su,t},$$

$$\text{con } \beta_t = \begin{cases} 1000 & \text{para } i_t \leq 5 \\ 1 & \text{si no.} \end{cases}$$

Para ejemplificar el efecto de β_t , en las comparaciones de esta sección se ha decidido arbitrariamente que las tareas de ranking igual o inferior a 5 sean las que se desean asignar obligatoriamente (sujeto a la disponibilidad del experto), mientras que para ranking superiores el ponderador no tiene efecto.

a) Tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos

La inclusión del parámetro β_t generó los resultados esperados en la tasa de tareas asignadas según la prioridad de los lineamientos, según se observa en la Figura 27. Específicamente, se reconoce que todas las tareas de ranking igual o inferior a 5 son asignadas. Se destaca que esto es posible porque la

disponibilidad de los expertos lo permite, ya que en otras ocasiones podría ser mayor el tiempo requerido para las tareas obligatorias en relación con el tiempo disponible de ellos. En términos relativos, en la Figura 28 se aprecia que el ponderador permite obtener mejores resultados que la ACHS en los distintos escenarios para tareas de ranking 5 o inferior, mientras que para casos superiores varía el resultado según la importancia de la criticidad (γ_C), donde nuevamente los valores inferiores de γ_C son más cercanos a los resultados de la ACHS.

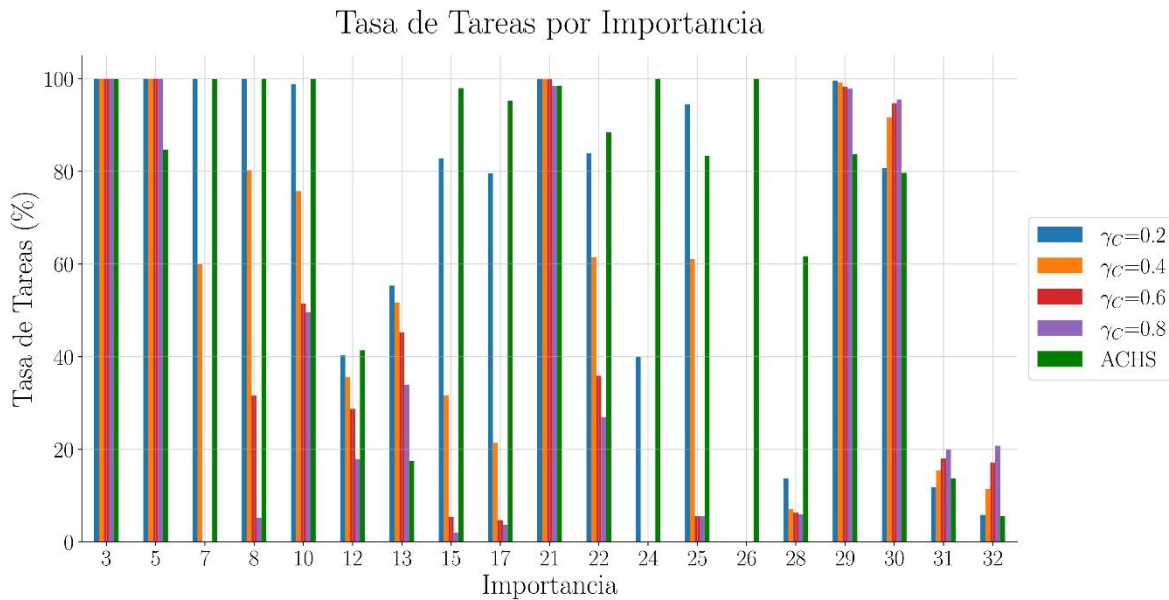


Figura 27: Tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos (KPI_{In}) usando el modelo M1 ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas) e incluyendo el ponderador β_t , contrastado con la asignación de la ACHS.

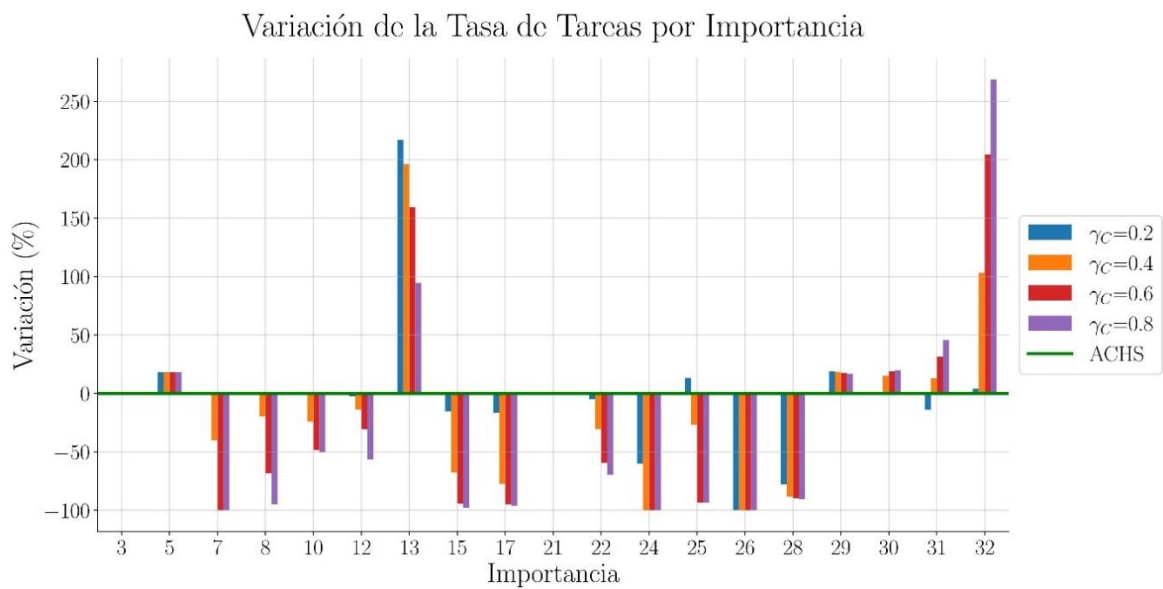


Figura 28: Variación de la tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos (KPI_{In}) usando el modelo M1 ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas) e incluyendo el ponderador β_t , contrastado con la asignación de la ACHS.

b) Número de tareas asignadas a nivel nacional

Para corroborar si el parámetro β_t tiene algún efecto negativo en el número de tareas al cambiar la distribución de tareas (ocasionando que sean prácticamente obligatorias algunas), se procede a ilustrar los diferentes escenarios de γ_C en la Figura 29. Con ello, se aprecia que en todos los casos se logra asignar un mayor número de tareas que en la ACHS, por lo que existe una mejora en la distribución de tareas incluso tras establecer un grupo de tareas obligatorias. Además, pese a que se asignan menos tareas con respecto al caso comparativo anterior de la Figura 13, esta diferencia es inferior al 0.7%.

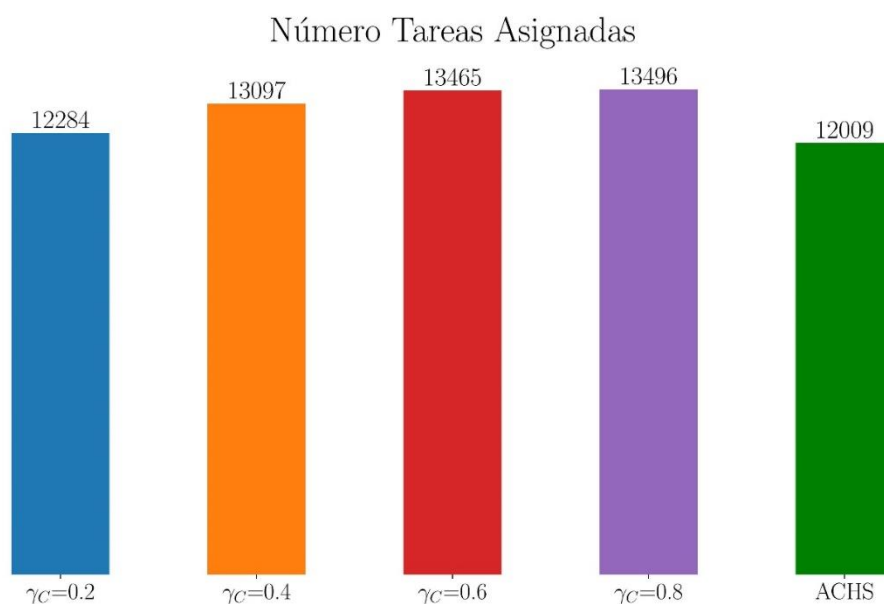


Figura 29: Número de tareas asignadas a nivel nacional (KPI_{nn}) usando el modelo M1 ($\gamma_C = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$) en los problemas tipo A (Carteras Preestablecidas) e incluyendo el ponderador β_t , contrastado con la asignación de la ACHS.

c) Conclusiones parciales de la comparación de escenarios del caso 1-A beta

La inclusión del parámetro β_t permite declarar tareas que deben ser asignadas obligatoriamente, sujeto a la disponibilidad de los expertos. Esto permite que los tomadores de decisiones en la ACHS puedan escoger entre distintas combinaciones de γ_C y γ_I según sus propósitos y, a su vez, asegurar que las tareas que consideren prioritarias se asignen independiente del escenario elegido.

Este modelo es una generación del caso 1-A, ya que, si no se establecen rankings prioritarios, el ponderador β_t valdría uno para todos los casos. Es por esta relación, y por la mejora que produce su inclusión en el modelo 1-A, que se añadirá por defecto y se denominará, de ahora en adelante, simplemente como modelo M1-A a aquel que contiene β_t en su función objetivo.

E5. Comparación de modelos M1 y M3

El modelo 3 considera la inclusión de la meta de cobertura de sucursales y casas matrices, cuyo efecto en contraste con el modelo 1 (1A) se analiza en esta sección. Para que ambos casos sean comparables, se ha decidido en conjunto con la ACHS utilizar un peso relativo para la importancia de tareas (γ_I) de 0.6 para las dos formulaciones, entendiendo que en la ACHS el modelo actual privilegia este aspecto de la función objetivo.

El 40% restante de importancia relativa para el modelo 1 corresponderá al peso de la criticidad ($\gamma_C=0.4$), mientras que en el modelo 3 se reparte equitativamente entre la criticidad ($\gamma_C=0.2$) y la meta de cobertura ($\gamma_M=0.2$). Para simplificar la visualización, se resumirán los tres pesos relativos del modelo 3 en el vector $\gamma_{CIM} = [\gamma_C, \gamma_I, \gamma_M] = [0.2, 0.6, 0.2]$. Junto con la inclusión de la cobertura en la función objetivo, su efecto se medirá mediante un indicador de la tasa de cobertura que será detallado en esta sección.

a) Variación del número de tareas asignadas a nivel nacional

En la Figura 30 se observa la variación del número de tareas asignadas para el modelo 1 y el modelo 3, comparados con la solución de la ACHS como base, asignándose al menos un 6% más de tareas. En particular, el modelo 1 asigna 13098 tareas y el modelo 3 logra 12817 actividades, diferencia que se debe a que en el primero tiene mayor relevancia el peso de la criticidad y, como se comentó en las comparaciones anteriores, esto se traduce en un mayor número de tareas asignadas.

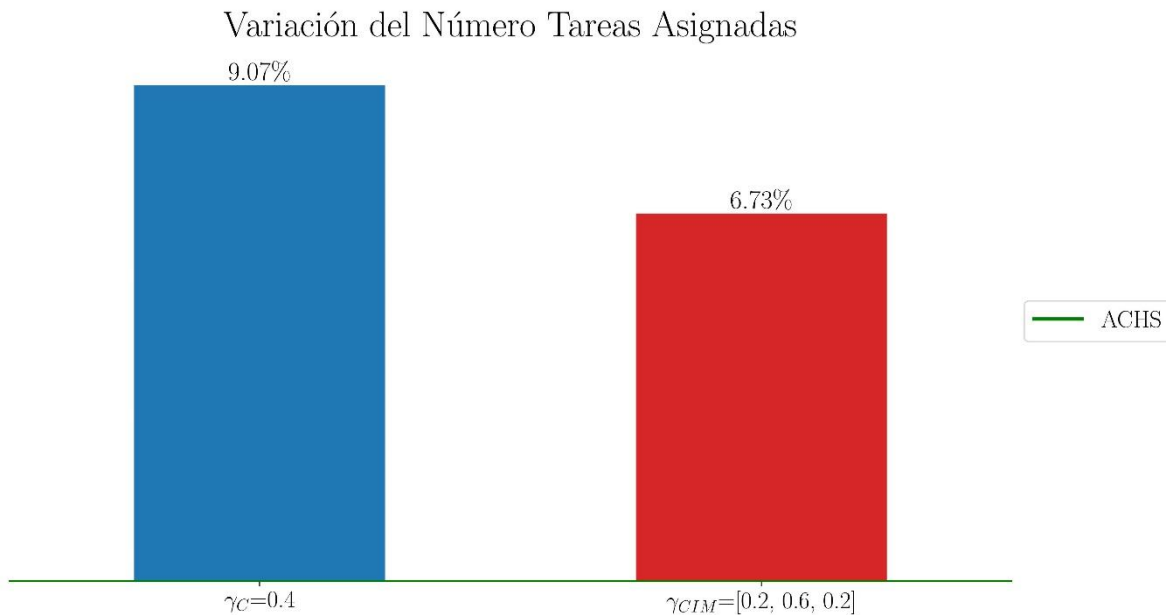


Figura 30: Variación del número de tareas asignadas a nivel nacional (KPI_{nn}) usando los modelos M1 ($\gamma_C = 0.4$) y M3 ($\gamma_{CIM} = [0.2, 0.6, 0.2]$), contrastado con la asignación de la ACHS.

b) Variación de la tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos

Los resultados obtenidos para la tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad (o importancia) de los lineamientos en la Figura 31 muestran que el comportamiento entre los dos modelos propuestos es similar, aunque el modelo 3 asigna un mayor número de tareas para la mayoría de los niveles de importancia de lineamientos. Adicionalmente, ambos modelos tienen una asignación similar con la ACHS para las tareas de menor ranking (las más relevantes) hasta la ubicación 12, mientras que en la importancia 13 superan a la ACHS asignando cerca de 200% más de tareas y para las tareas menos relevantes se asignan, en general, menos tareas que la ACHS. Este comportamiento concuerda con lo esperado, ya que el peso escogido para la importancia de los lineamientos en ambos modelos es del 60%, mientras que para el modelo de la ACHS la prioridad de los lineamientos tiene una preponderancia aún mayor.

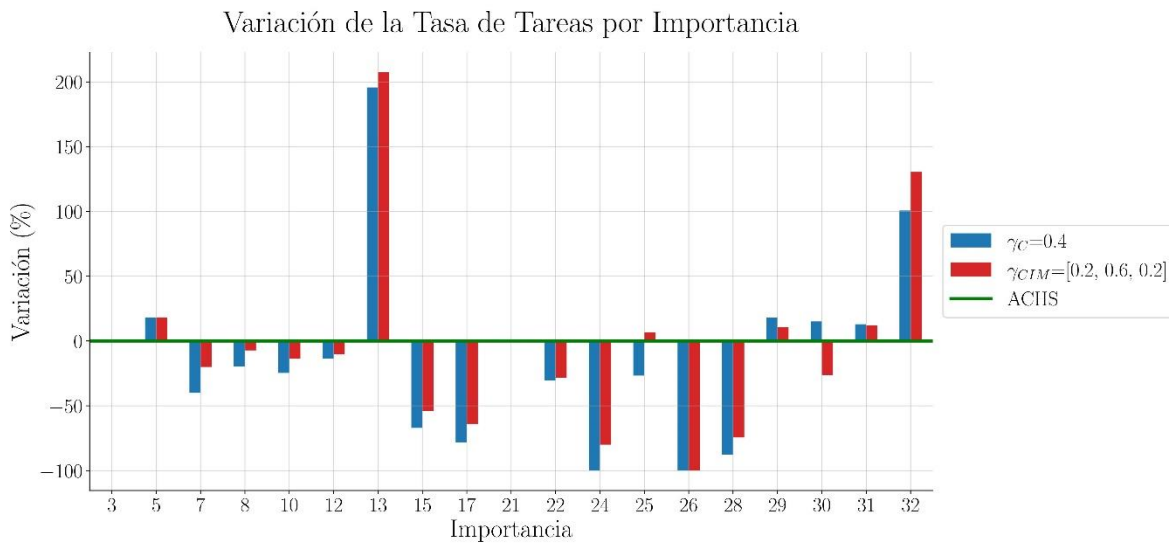


Figura 31: Variación de la tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos (KPI_{In}) usando los modelos M1 ($\gamma_C = 0.4$) y M3 ($\gamma_{CIM} = [0.2, 0.6, 0.2]$), contrastado con la asignación de la ACHS.

c) Variación del número de sucursales con tareas asignadas a nivel nacional

De forma similar al número de tareas, el número de sucursales con tareas asignadas para ambos modelos es al menos 6% más que para la ACHS, como se muestra la Figura 32. Como el modelo 1 distribuye más tareas para los expertos que el modelo 3, esto se traduce en una asignación de 12776 y 12455 sucursales distintas, respectivamente. Por el contrario, en la ACHS se establecen 11658 sucursales con tareas asignadas.

Pese a que en el modelo 1 se asignan un mayor número de sucursales, lo que podría interpretarse como una mayor cobertura, no considera qué tan importante es cada sucursal para la meta de cobertura de la ACHS. En el siguiente indicador se explicará cómo se interpreta la cobertura en la organización, ocasionándose que no se desee maximizar el número de sucursales con toques, sino las visitas a las empresas que sean cruciales en el mes correspondiente.

Variación del Número de Sucursales con Tareas Asignadas

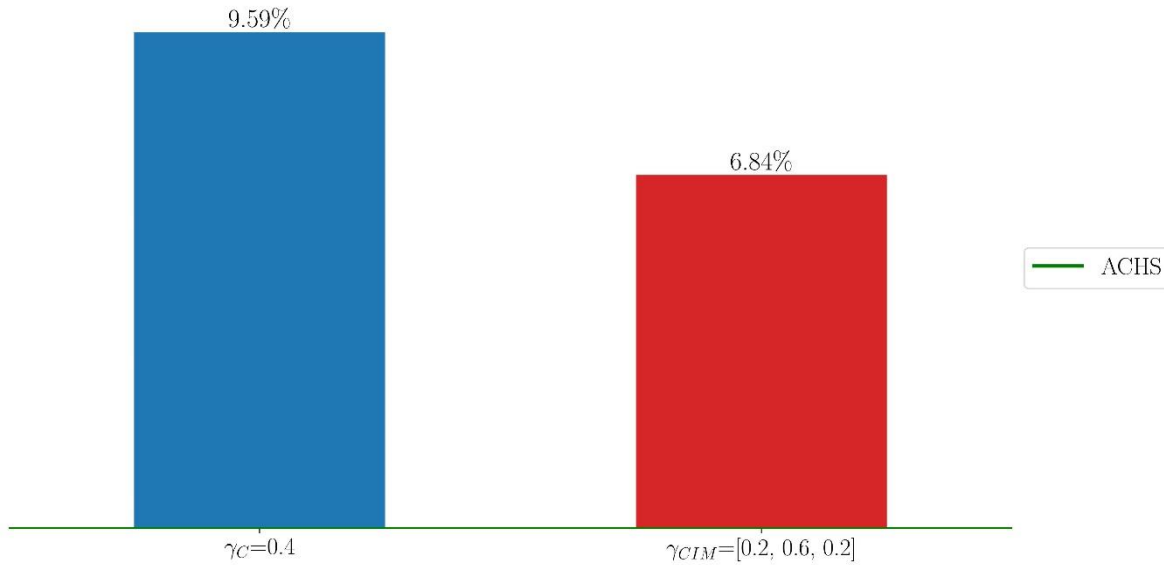


Figura 32: Variación del número de sucursales con tareas asignadas a nivel nacional (KPI_{sn}) usando los modelos M1 ($\gamma_C = 0.4$) y M3 ($\gamma_{CIM} = [0.2, 0.6, 0.2]$), contrastado con la asignación de la ACHS.

d) Tasa de cobertura de sucursales y casas matrices por subsegmento a nivel nacional

Para poder comparar el efecto del nuevo factor en el modelo 3, se utiliza el indicador de la tasa de cobertura de sucursales y casas matrices por subsegmento, a nivel nacional. Este KPI se construye a partir de la información del modelo de atención (toques esperados y meta de cobertura) y los toques históricos que se han realizado en los 12 meses previos, calculándose de la siguiente manera:

$$KPI_{cn} = \frac{\sum_{su} \left(\frac{q_{su} + q_{su}^a}{q_{su}^e} \right) \cdot \frac{1}{m_{su}}}{|SU|}$$

Además de los parámetros involucrados en el planteamiento del modelo de optimización, para calcular este indicador se añade el nuevo término q_{su}^a que representa el toque actual de la sucursal su (1 si se asignó este mes una visita, 0 si no). El propósito de este indicador es mostrar qué tan cerca se está, en promedio, de la meta de cobertura para cada subsegmento.

Considerando que las casas matrices y sucursales tiene diferente prioridad para la ACHS, se desglosan a continuación los resultados de cada caso.

(1) Casas matrices

La tasa de cobertura por subsegmento para casas matrices se observa en la Figura 33, notándose que en la mayoría de los casos se obtiene una cobertura de alrededor del 40%. Particularmente, en el modelo de atención las empresas del subsegmento 6A no poseen meta de cobertura, razón por la que no se calcula en este caso. En términos relativos, la diferencia entre los dos modelos y la ACHS se resume en la Figura 34, donde se aprecia que los dos modelos propuestos generan mejores resultados que la ACHS en la mayoría de los casos. Específicamente, el modelo 3 genera una mayor cobertura

que el modelo 1 al considerar los toques históricos y meta de cobertura en la función objetivo, por lo que los toques que realiza son en empresas de mayor trascendencia en el mes correspondiente.

Tasa de Cobertura por Subsegmento Casa Matriz

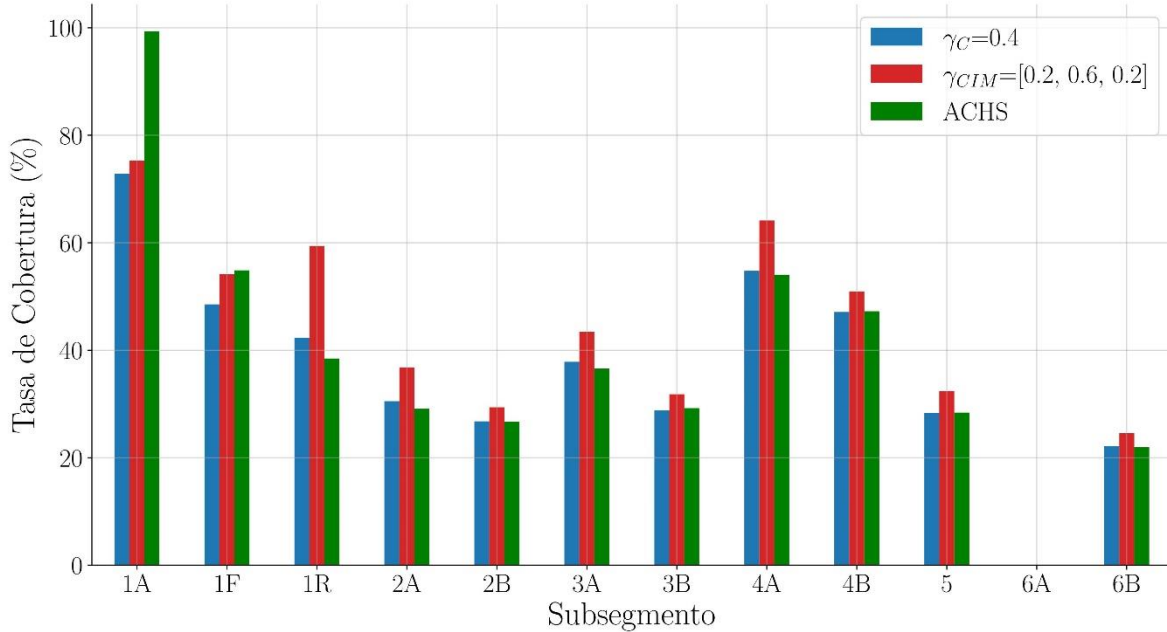


Figura 33: Tasa de cobertura de casas matrices por subsegmento a nivel nacional (KPI_{cn}) usando los modelos MI ($\gamma_C = 0.4$) y M3 ($\gamma_{CIM} = [0.2, 0.6, 0.2]$), contrastado con la asignación de la ACHS.

Variación de la Tasa de Cobertura por Subsegmento Casa Matriz

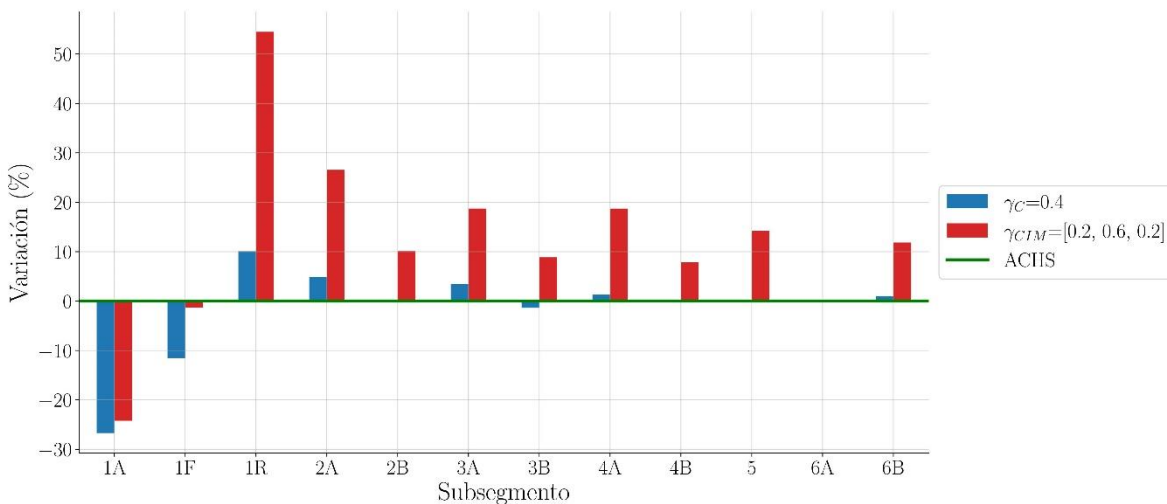


Figura 34: Variación de la tasa de cobertura de casas matrices por subsegmento a nivel nacional (KPI_{cn}) usando los modelos MI ($\gamma_C = 0.4$) y M3 ($\gamma_{CIM} = [0.2, 0.6, 0.2]$), contrastado con la asignación de la ACHS.

(2) Sucursales

La cobertura de sucursales es inferior a la obtenida a nivel de casas matrices, siendo alrededor del 30% en la mayoría de los subsegmentos, según se aprecia en la Figura 35. El caso con mayor asignación para los dos modelos y ACHS en conjunto corresponde al subsegmento 6A, que, a diferencia de las casas matrices, para sucursales sí posee meta de cobertura. En términos relativos, los resultados de la Figura 36 muestran una tendencia opuesta a lo obtenido en las casas matrices, ya que el modelo 1 entrega una mayor cobertura. La razón de esto se debe a que la meta de cobertura le da una mayor preponderancia a las casas matrices, afectando al modelo 3 que privilegia aquellas visitas por sobre las sucursales.

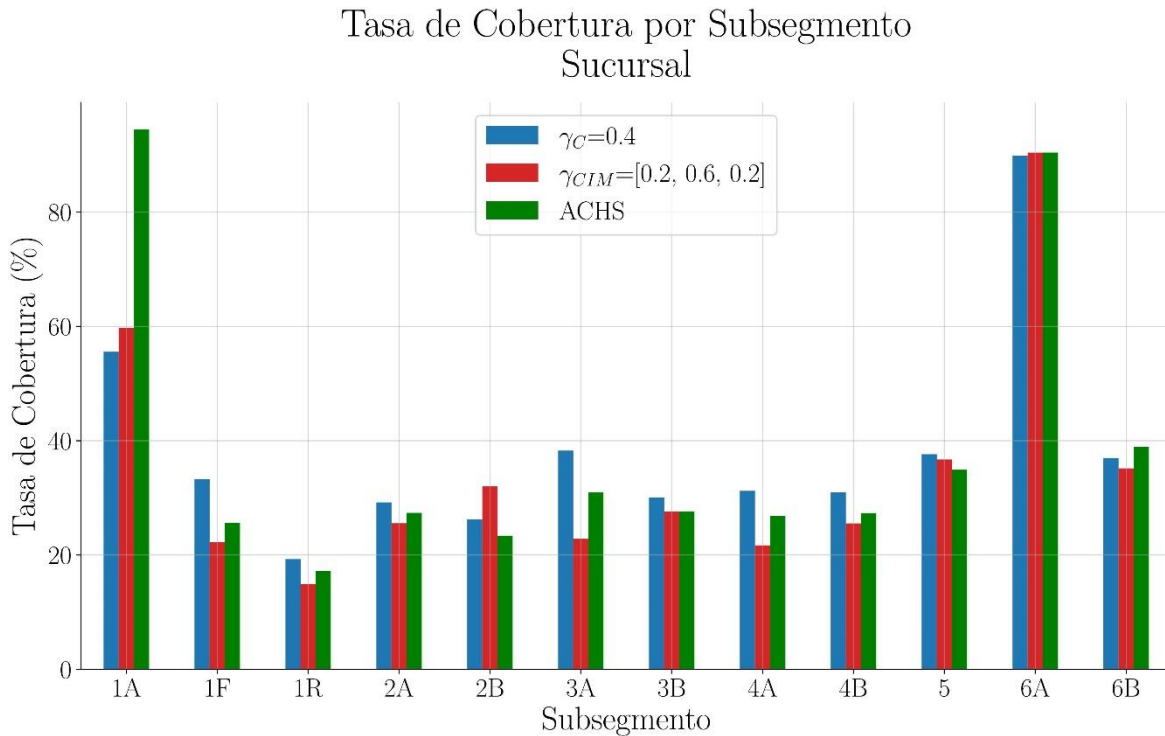


Figura 35: Tasa de cobertura de sucursales por subsegmento a nivel nacional (KPI_{cn}) usando los modelos M1 ($\gamma_C = 0.4$) y M3 ($\gamma_{CIM} = [0.2, 0.6, 0.2]$), contrastado con la asignación de la ACHS.

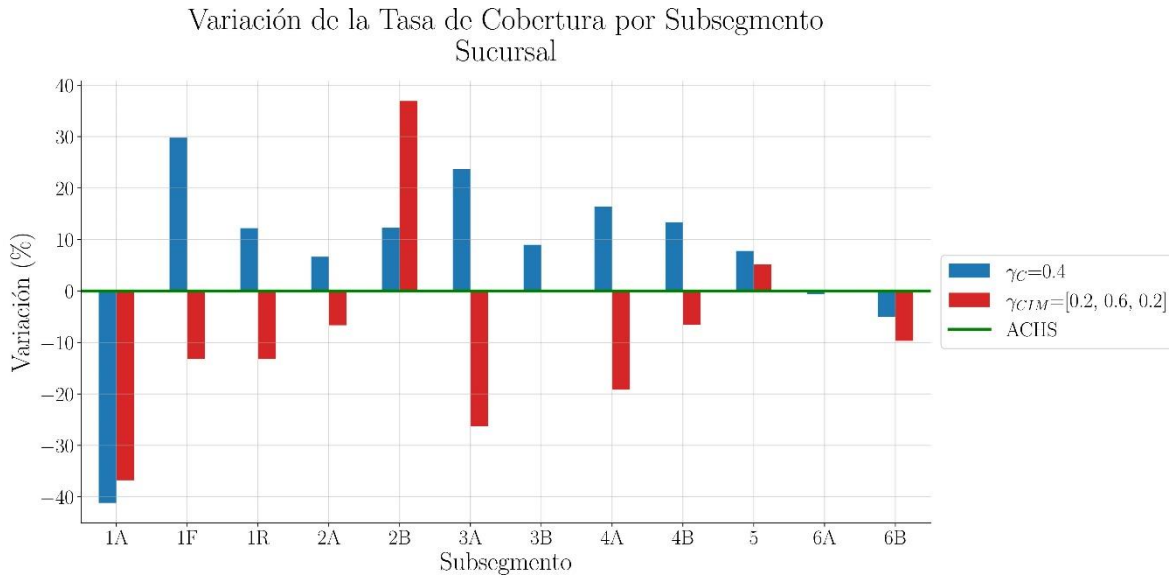


Figura 36: Variación de la tasa de cobertura de sucursales por subsegmento a nivel nacional (KPI_{cn}) usando los modelos M1 ($\gamma_C = 0.4$) y M3 ($\gamma_{CIM} = [0.2, 0.6, 0.2]$), contrastado con la asignación de la ACHS.

e) Tasa de tareas diferentes a nivel nacional

Para analizar el contraste entre las asignaciones de las tareas se presenta la Tabla 4, que muestra la tasa de tareas diferentes asignadas a nivel nacional para ambos modelos y la solución ACHS, y la comparación para cada par de estos. Específicamente, se observa que el modelo 1 y 3 difieren de las asignaciones de la ACHS en un 13% y 19%, respectivamente. Es decir, la mayoría de las decisiones efectuadas se mantienen entre los modelos, resultando en cambios en los KPI producto de modificaciones inferiores al 20%. Además, entre los modelos hay una diferencia del 14% entre las asignaciones, por lo que decidir por un modelo u otro va a afectar a menos del 15% de tareas asignadas. Estos resultados están condicionados por los pesos escogidos para los componentes de la función objetivo, por lo que decisiones diferentes sobre la preponderancia de un criterio u otro podría generar resultados diferentes.

Tabla 4: Tasa de tareas diferentes a nivel nacional (KPI_{dn}) usando los modelos M1 ($\gamma_C = 0.4$) y M3 ($\gamma_{CIM} = [0.2, 0.6, 0.2]$), contrastado con la asignación de la ACHS.

	$\gamma_C = 0.4$	ACHS
$\gamma_C = 0.4$	-	13%
$\gamma_{CIM} = [0.2, 0.6, 0.2]$	14%	19%

f) Conclusiones parciales de la comparación de los modelos 1 y 3

La diferencia principal entre ambos modelos propuestos radica en que el modelo 3 incluye la meta de cobertura en su función objetivo. Su incorporación genera una ventaja en relación al modelo 1 y el de la ACHS por añadir como información de entrada la asignación de meses anteriores, ya que en estos últimos dos casos no se tiene en cuenta si hay sucursales a las que no se han visitado en un largo período o empresas que ya cumplieron su meta de cobertura, cambiando la importancia de asignar una visita en el mes que se planifica actualmente.

Ambos modelos propuestos son mejores en la mayoría de los indicadores con respecto a la solución de la ACHS, presentando también un comportamiento similar entre sí. Es por ello que la decisión de qué modelo implementar dependerá de la necesidad de priorizar la tasa de cobertura de casas matrices y sucursales. De todas formas, se recomienda usar el modelo 3 porque incluye información histórica de visitas, permitiendo analizar las asignaciones en períodos de tiempo mayor, siendo un insumo para las decisiones estratégicas de la organización.

Se destaca que estas comparaciones se realizaron también para otros períodos. En particular, se implementaron los modelos en los períodos 202307 y 202306, obteniéndose resultados similares al del mes mostrado en detalle en este informe para los diferentes indicadores en cuestión. De todas formas, los resultados del modelo 3 se obtuvieron considerando los toques históricos fijos de cada mes, es decir, sin usar lo asignado por el período anterior como insumo para los toques del mes siguiente. En el caso que se implemente el modelo 3, se espera que la tasa de cobertura mejore a través del tiempo al considerar la asignación realizada usando lo ya cubierto por el mes anterior.

Finalmente, se destacó que los resultados del modelo 3 están condicionados a las decisiones estratégicas de la ACHS sobre qué criterios privilegiar. Con el propósito de ilustrar cómo afectarían las elecciones de los pesos relativos en la función objetivo, en la siguiente sección se muestran diferentes escenarios del modelo propuesto.

E6. Múltiples escenarios del modelo M3

Los análisis anteriores permitieron notar que el modelo de mejor rendimiento es el M3. Ante esta situación, se propone a continuación un conjunto de comparaciones entre diferentes escenarios para los pesos relativos de los componentes de la función objetivo, con el propósito de destacar ventajas y desventajas de cada uno. Con ello, los tomadores de decisiones en la ACHS conocerán cómo se comporta el modelo frente a estas fluctuaciones y podrán optar por la combinación que se adapte mejor a los fines estratégicos de la organización.

Considerando que la función objetivo presenta tres pesos relativos, uno para la criticidad (γ_C), importancia de lineamientos (γ_I) y cobertura (γ_M), se generan tres escenarios para priorizar uno de aquellos elementos en cada caso. Para simplificar la visualización, se resumirán los tres pesos relativos en el vector $\gamma_{CIM} = [\gamma_C, \gamma_I, \gamma_M]$, cuyos valores para cada combinación son los siguientes:

- Priorización de la criticidad: $\gamma_{CIM} = [\gamma_C, \gamma_I, \gamma_M] = [0.6, 0.2, 0.2]$.
- Priorización de la importancia de los lineamientos: $\gamma_{CIM} = [\gamma_C, \gamma_I, \gamma_M] = [0.2, 0.6, 0.2]$.
- Priorización de la meta de cobertura de sucursales: $\gamma_{CIM} = [\gamma_C, \gamma_I, \gamma_M] = [0.2, 0.2, 0.6]$.

a) Número de tareas asignadas a nivel nacional

Las tres combinaciones analizadas permiten asignar un número mayor de tareas que la ACHS, observándose en la Figura 37 que una mayor criticidad permite un KPI_{nn} más alto, concordando con los resultados previos. Además, se aprecia que una priorización en la cobertura genera resultados intermedios entre los mayores pesos para criticidad e importancia de lineamientos. Esto se debe a que una mayor cobertura busca alcanzar un mayor número de sucursales, tal como con γ_C altos, aunque realizando visitas a sucursales que estén con mayor déficit en relación con su meta de toques esperados, lo que podría ocasionar que se realicen tareas más extensas si corresponden a las sucursales críticas, repercutiendo en el número de tareas que es posible distribuir con el tiempo disponible.

Variación del Número Tareas Asignadas

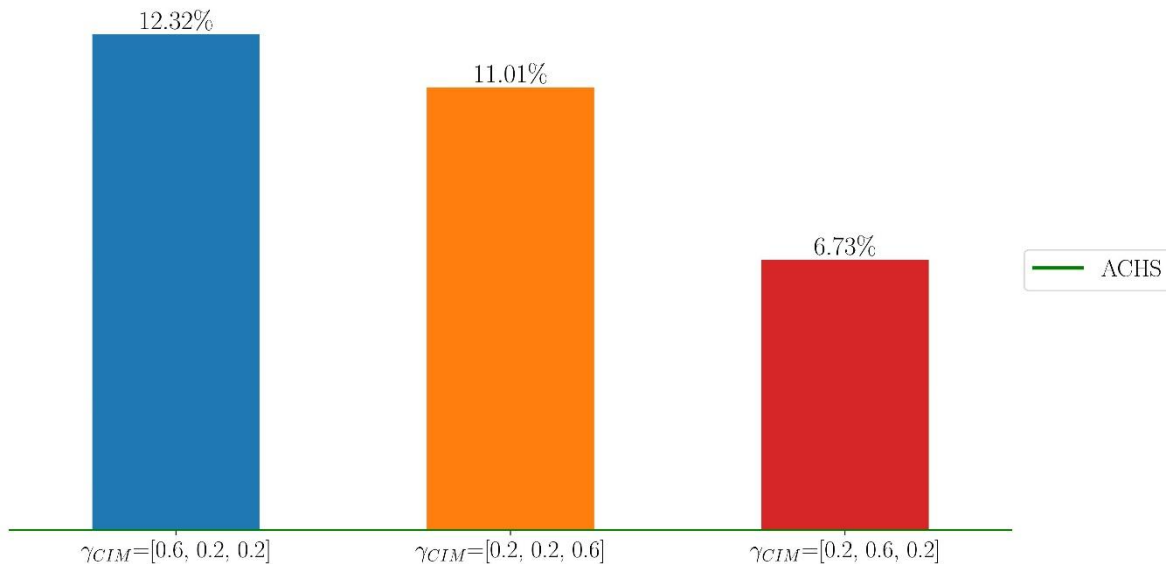


Figura 37: Variación del número de tareas asignadas a nivel nacional (KPI_{nn}) usando el modelo M3 ($\gamma_{CIM} = \{[0.6, 0.2, 0.2], [0.2, 0.2, 0.6], [0.2, 0.6, 0.2]\}$), contrastado con la asignación de la ACHS.

b) Tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos

Al igual que en casos anteriores, todos los escenarios generados permiten una asignación igual o mejor que la ACHS para las tareas de ranking prioritario (5 o inferior), mientras que, para ubicaciones superiores, en la mayoría de los niveles de importancia, se tiene una distribución de tareas mayor para la ACHS, notando que las mayores fluctuaciones se producen en la importancia 13 y 32 mediante el modelo 3, al estar asignando un número mayor de tareas. Una elección distinta de los rankings prioritarios ocasionará resultados diferentes, según sea el propósito de la organización.

Variación de la Tasa de Tareas por Importancia

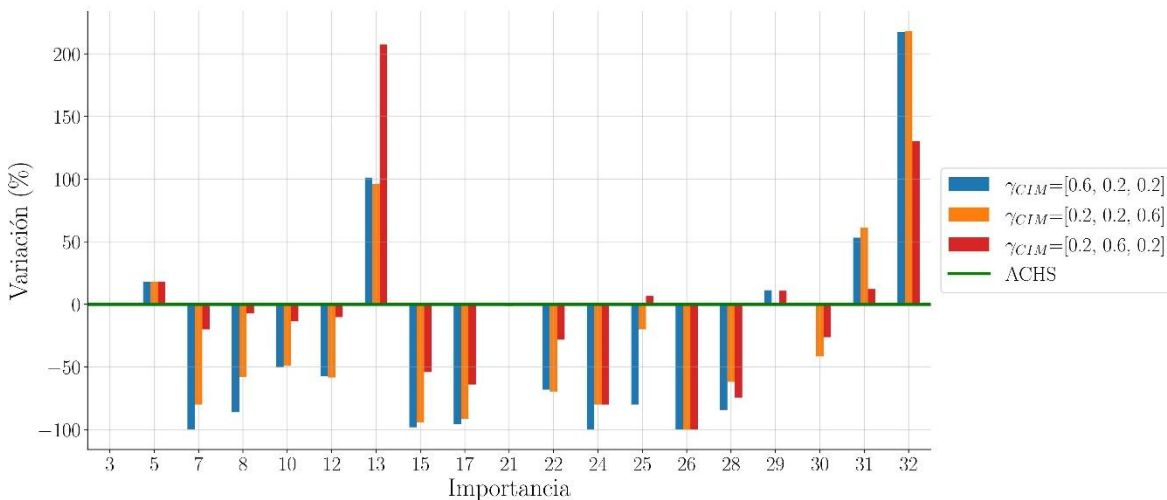


Figura 38: Variación de la tasa de tareas asignadas a nivel nacional según la prioridad de los lineamientos (KPI_{ln}) usando el modelo M3 ($\gamma_{CIM} = \{[0.6, 0.2, 0.2], [0.2, 0.2, 0.6], [0.2, 0.6, 0.2]\}$), contrastado con la asignación de la ACHS.

c) Número de sucursales con tareas asignadas

El número de sucursales con tareas asignadas o toques es mayor para el modelo 3 en sus diferentes escenarios en contraste con la ACHS, tal como se aprecia en la Figura 39, alcanzando un mayor valor al aumentar la criticidad. Precisamente, una mayor criticidad genera que se abarque un mayor número de empresas, mientras que un aumento en el peso de la cobertura origina que se escojan las más críticas y, con ello, disminuye el número de toques. Escoger una mayor preponderancia para la importancia de las tareas origina el escenario con menor número de sucursales, ya que podría estar privilegiando tareas de mayor duración y, con ello, alcanzar a cubrir menos empresas.

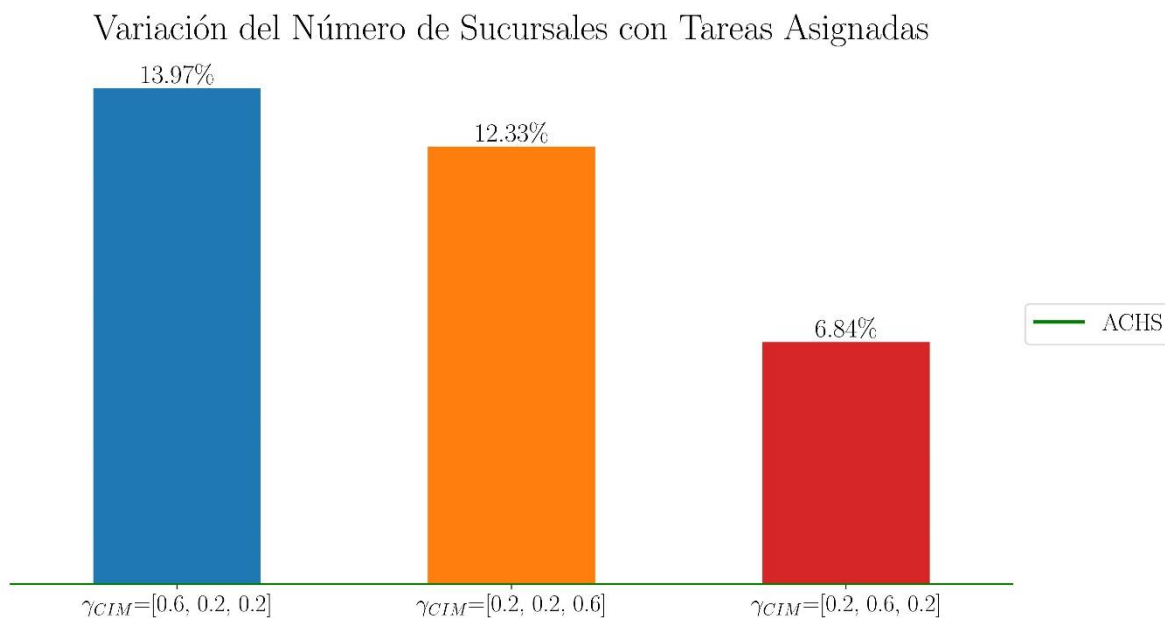


Figura 39: Variación del número de sucursales con tareas asignadas a nivel nacional (KPI_{SN}) usando el modelo M3 ($\gamma_{CIM} = \{[0.6, 0.2, 0.2], [0.2, 0.2, 0.6], [0.2, 0.6, 0.2]\}$), contrastado con la asignación de la ACHS.

d) Tasa de cobertura de sucursales y casas matrices por subsegmento a nivel nacional

Al igual que en la sección anterior, para comprender detalladamente la relevancia del modelo 3 es necesario explicitar la tasa de cobertura de casas matrices y sucursales. Específicamente, en la Figura 40 se observa que los resultados para las casas matrices concuerdan con lo esperado, ya que se tiene una mayor cobertura usando el escenario con mayor peso para toques históricos y meta de cobertura. Adicionalmente, la tendencia se mantiene con lo obtenido en la sección previa, ya que el aumento en cobertura de casas matrices se traduce en una menor cobertura de sucursales, según se resume en la Figura 41.

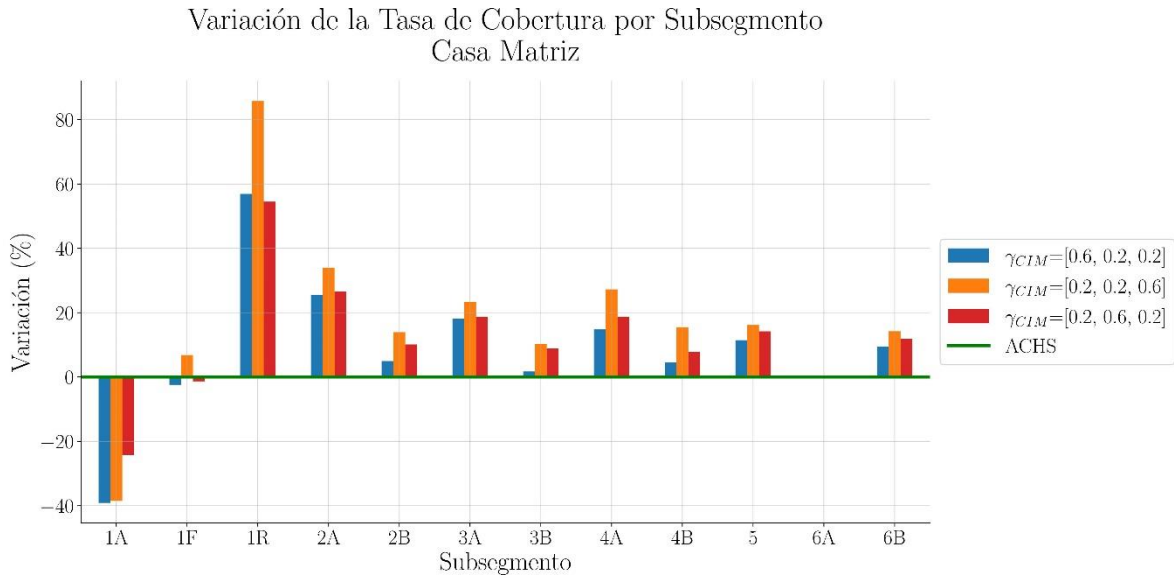


Figura 40: Variación de la tasa de cobertura de casas matrices por subsegmento a nivel nacional (KPI_{cn}) usando el modelo M3 ($\gamma_{CIM} = \{[0.6, 0.2, 0.2], [0.2, 0.2, 0.6], [0.2, 0.6, 0.2]\}$), contrastado con la asignación de la ACHS.

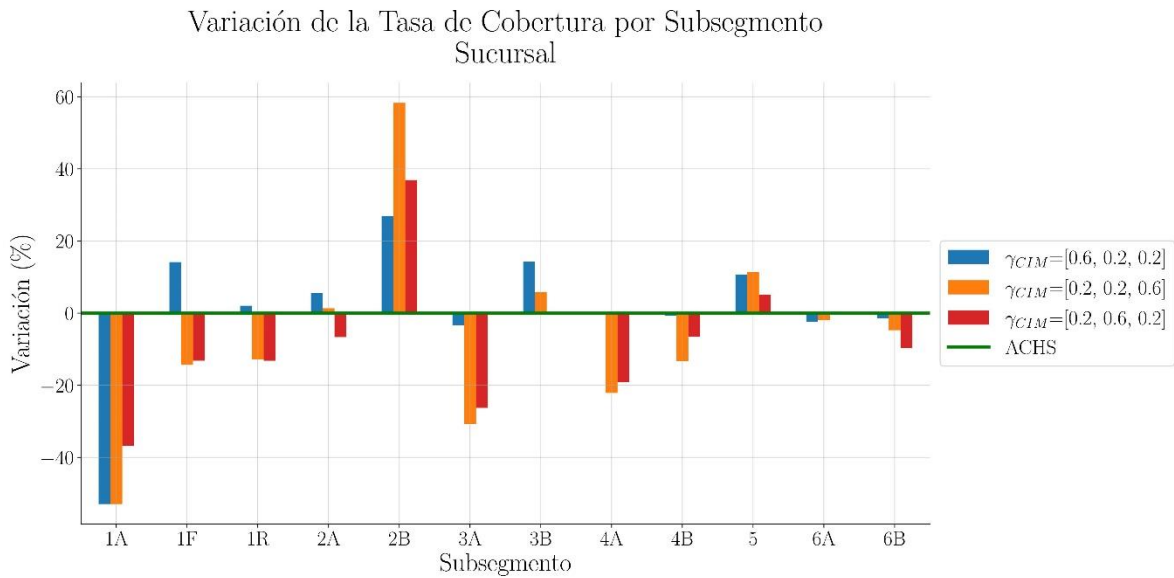


Figura 41: Variación de la tasa de cobertura de sucursales por subsegmento a nivel nacional (KPI_{cn}) usando el modelo M3 ($\gamma_{CIM} = \{[0.6, 0.2, 0.2], [0.2, 0.2, 0.6], [0.2, 0.6, 0.2]\}$), contrastado con la asignación de la ACHS.

e) Tasa de tareas diferentes a nivel nacional

Para los pesos relativos escogidos, se observa en la Tabla 5 que elegir entre una combinación u otra solo genera un 12% de tareas asignadas diferentes, por lo que las soluciones serían consistentes entre sí y las decisiones estratégicas solo cambiarían una fracción menor de tareas con el propósito de mejorar algún indicador que se considere más relevante para la organización. En relación con la diferencia que se produce con la asignación de la ACHS, el mayor contraste se produce al privilegiar la meta de cobertura, ya que esta parte de la función objetivo es la única que considera información histórica, carente también en la asignación de la ACHS.

Tabla 5: Tasa de tareas diferentes a nivel nacional (KPI_{dn}) usando el modelo M3 ($\gamma_{CIM} = \{[0.6, 0.2, 0.2], [0.2, 0.2, 0.6], [0.2, 0.6, 0.2]\}$), contrastado con la asignación de la ACHS.

	$\gamma_{CIM} = [0.2, 0.6, 0.2]$	$\gamma_{CIM} = [0.2, 0.2, 0.6]$	ACHS
$\gamma_{CIM} = [0.6, 0.2, 0.2]$	12%	12%	19%
$\gamma_{CIM} = [0.2, 0.6, 0.2]$	-	11%	19%
$\gamma_{CIM} = [0.2, 0.2, 0.6]$	-	-	24%

F. Agrupación de tareas

Los expertos deben organizarse y planificar en qué momento del mes realizarán las tareas que se les asignaron, tras la implementación del modelo de optimización. Para facilitar esta labor, se propone una metodología para agrupar las actividades convenientemente. Esto se realiza mediante un algoritmo que considera el formato de la tarea (presencial o remota), la comuna en donde se debe efectuar la tarea y su duración (ejecución y traslado, si corresponde). El propósito del algoritmo es crear grupos de tareas para cada experto, a modo de sugerencia para que sean realizadas en un mismo día. Cada grupo representa un día diferente, pero sin un orden específico.

F1. Algoritmo de agrupación

Para iniciar, a cada experto se le calcula el promedio de duración de las tareas asignadas t_{prom} , considerando 20 días hábiles. Luego, las tareas se separan según su formato (presencial o remota). Posteriormente, se realizan los siguientes pasos para cada experto y las respectivas sucursales y tareas que se encuentran en su planificación mensual:

1. Si la tarea es presencial:
 - 1.1. Si la sucursal tiene más de una tarea asignada:
 - 1.1.1. Se ordenan las tareas de acuerdo con la sucursal y la duración total de la tarea (de mayor a menor).
 - 1.1.2. Para cada sucursal: cada tarea se agrega a un mismo grupo si la duración total del grupo es menor que dos veces t_{prom} . Si no, se añade a un nuevo grupo.
 - 1.1.3. Si quedan grupos con una sola tarea: se repite el paso anterior con estas tareas.
 - 1.1.4. Si aún quedan grupos con una sola tarea: se agregan al resto de las tareas presenciales.
 - 1.2. Si la sucursal solo tiene una tarea asignada:
 - 1.2.1. Se ordenan las tareas de acuerdo con la comuna y la duración total de la tarea (de mayor a menor).
 - 1.2.2. Para cada comuna: cada tarea se agrega a un mismo grupo si la duración total del grupo es menor que dos veces t_{prom} . Si no, se añade a un nuevo grupo.
2. Si la tarea es remota:
 - 2.1. Se ordenan las tareas de acuerdo con la duración total de la tarea (de mayor a menor).
 - 2.2. Cada tarea se agrega a un mismo grupo si la duración total del grupo es menor que dos veces t_{prom} . Si no, se añade a un nuevo grupo.

El criterio y propósito de agrupación de tareas se origina a partir de que, al tener tareas de la misma sucursal o comuna en un mismo grupo, el tiempo de traslado entre tareas en un mismo día pueda ser menor al presupuestado. Además, se considera que el tiempo de traslado es nulo para las tareas

remotas y que para los grupos que tienen tareas de una misma sucursal, se considera solo una vez el tiempo de traslado.

F2. Resultados generales del algoritmo

Para entender cómo funciona este algoritmo, se utilizan los datos de las tareas del periodo 202308, donde se tienen 52771 tareas por asignar y 439 expertos. La asignación considerada es la dada por el modelo 3 con parámetros $\gamma_{CIM} = [0.2, 0.6, 0.2]$, el cual logra distribuir 12817 tareas. Es importante mencionar que el 85.8% de las tareas asignadas son en formato remoto, entonces la mayor parte de la agrupación ocurre para este tipo de tareas, donde no se considera la comuna.

a) Número de grupos por experto

En la Figura 42 se muestra la distribución del número de grupos de los expertos, donde se nota que la mayoría de los expertos tiene entre 12 y 13 grupos cada uno, siendo la mediana 12 grupos. Es decir, un experto que tiene 12 grupos tiene planificados 12 días, quedando los restantes del mes para otras labores de la ACHS.

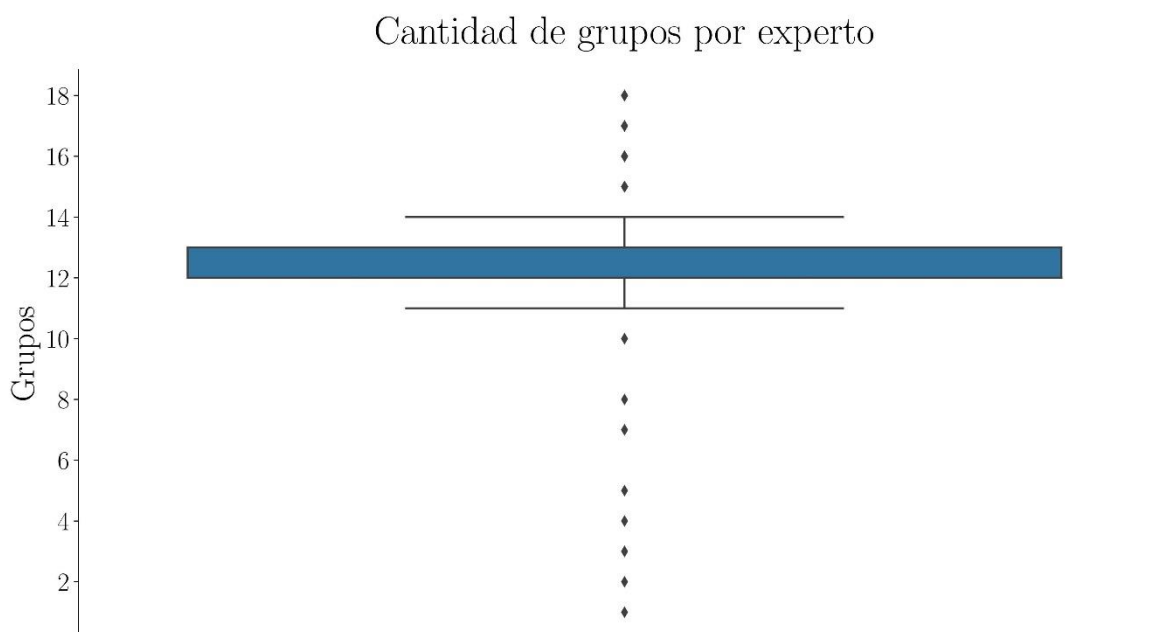


Figura 42: Cantidad de grupos por experto a partir del algoritmo de agrupación de tareas. La mediana es 12 y el promedio 12.5.

b) Tiempos por grupo

Respecto al tiempo que emplearían los expertos al realizar las actividades de cada grupo, en la Figura 43 se aprecia que la mayoría de los grupos duran entre 4 y 6 horas, siendo 6 horas la mediana. Con ello, quedaría tiempo disponible cada día con el que se podrían efectuar otras labores asociadas a las visitas.

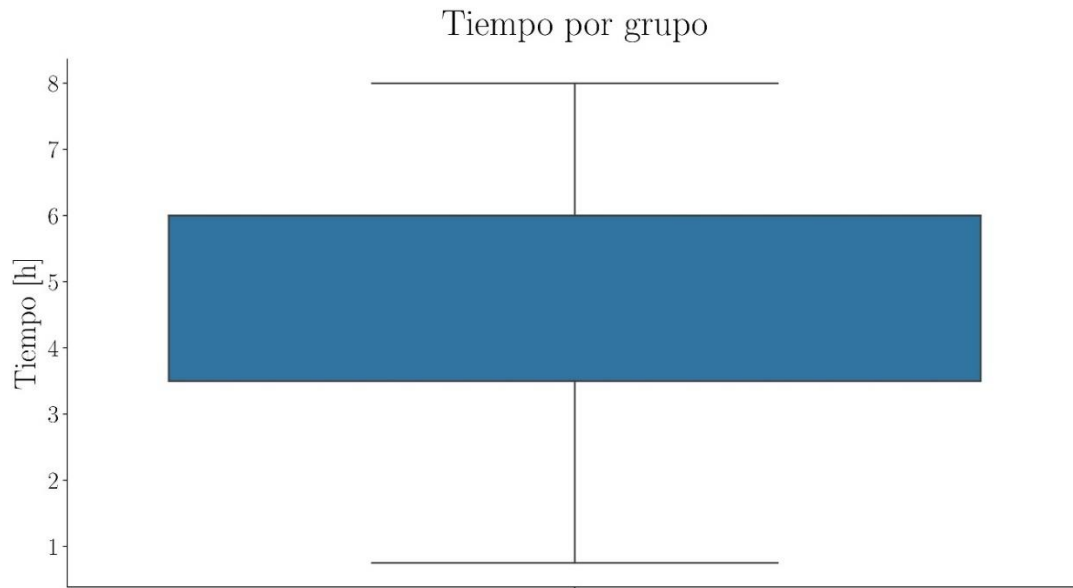


Figura 43: Tiempo por grupos de tareas a partir del algoritmo de agrupación de tareas. La mediana es 6 horas y el promedio 4.7 horas.

c) Número de tareas por grupo

El número de tareas por grupo se concentra entre 1 y 3, siendo la mediana 3 según se observa en la Figura 44. Con esto, si el experto decide realizar uno de estos grupos, debería hacer, en general, 3 tareas cada día.

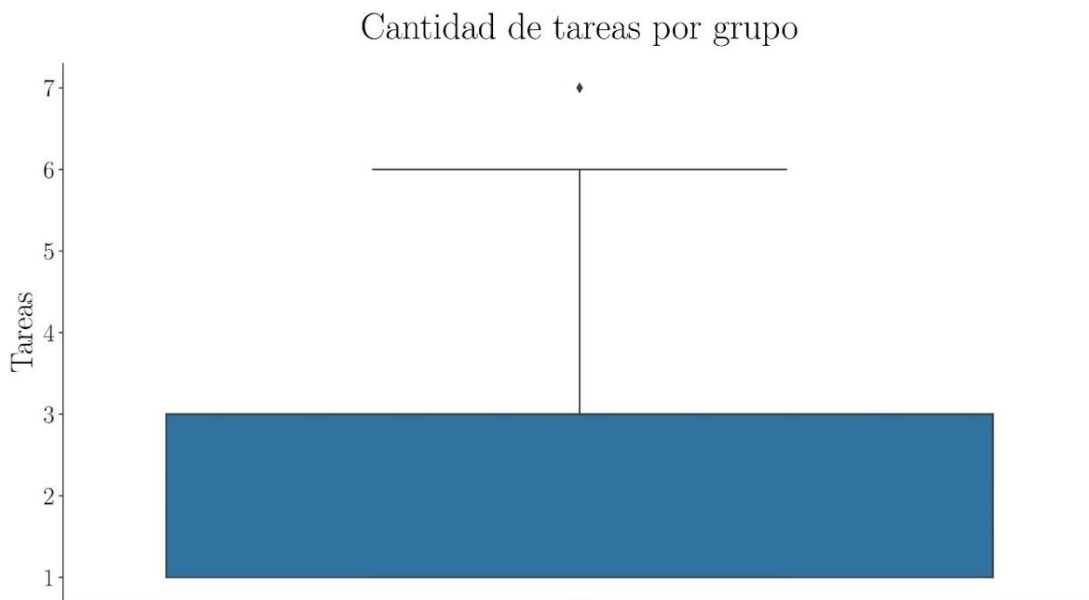


Figura 44: Cantidad de tareas por grupo entregados por el algoritmo; la mediana es 3 y el promedio 2.3.

d) Discusiones del algoritmo de agrupación

Los resultados entregados por este algoritmo son coherentes con la realidad, es decir, que un experto tenga 12 días con jornadas de 6 horas (considerando la mediana), ya que los expertos tienen otras

responsabilidades que deben cumplir dentro de su trabajo aparte de las visitas que se les asignan. Como esta agrupación corresponde a una sugerencia, no es obligación que cada experto la utilice. Sin embargo, que se les entregue una agrupación como esta puede ayudar a no ocupar más de su tiempo en esta planificación.

Se destaca que el factor utilizado para la agrupación (dos veces t_{prom}) se puede modificar, aunque esto no es recomendado, ya que se hicieron pruebas con factores más grandes y se obtienen (como se esperaba) menos grupos con más tareas cada uno. Específicamente, esto conlleva a que las jornadas se extiendan, superando incluso las 8 horas en algunos casos.

VIII. Recomendaciones para Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo

El trabajo de investigación permitió reconocer algunas oportunidades de mejora en la ACHS y que se podrían extender a otras organizaciones relacionadas con la seguridad y salud en el trabajo. Específicamente, la inclusión de entrevistas permitió considerar la visión de los expertos de prevención en la metodología de planificación propuesta. También la generación de escenarios para la ejecución de distintos modelos de optimización favorece el conocimiento de las implicancias de las distintas decisiones estratégicas que se podrían abordar en la organización.

A nivel de expertos, las entrevistas efectuadas permitieron notar que desean participar mediante su opinión en cómo se planifican las tareas actualmente. Específicamente, se recomienda favorecer la comunicación de los planes de incentivos y de planificación, con el propósito de que los expertos comprendan a qué se deben las distintas modificaciones que se realicen. De todas formas, desean que las decisiones en relación con incentivos se mantengan en el tiempo, ya que los cambios constantes los confunden.

Respecto a la asignación de tareas, la recomendación principal se centra en implementar modelos de optimización cuyos componentes sean identificables y que se pueda reconocer el efecto que produce modificarlos. Por ejemplo, la formulación propuesta permite explicitar el peso relativo de la criticidad, importancia de lineamientos y cobertura de casas matrices y sucursales. De esta forma, se generan escenarios que corresponden a un insumo directo para las decisiones estratégicas de la ACHS u otras organizaciones con labores y preocupaciones similares.

Una vez que se han distribuido las tareas mensuales, se recomienda agruparlas para que los expertos cuenten con una idea inicial de tareas que pueden realizar en un mismo día. El tiempo que les tomaría planificarse no está considerado en el total calculado para la ejecución de las tareas, por lo que sería conveniente que se les facilite y ahorre tiempo mediante el algoritmo propuesto para este fin.

Es relevante destacar que este trabajo consistió en una exploración de modelos de optimización, obteniéndose el modelo más conveniente para el propósito actual de la organización. Sin embargo, podrían existir a futuro nuevas consideraciones para la planificación de las tareas que se deben distribuir, por lo que se deben ir actualizando los modelos en base a ello, junto a los correspondientes indicadores claves de rendimiento. De todas formas, los escenarios generados permiten explicitar la flexibilidad del modelo según los valores escogidos para los parámetros del problema de optimización, resultando en distintas configuraciones de la solución.

Finalmente, se destaca que, pese a que la planificación de tareas se realiza mensualmente, es importante y recomendable considerar la información histórica de visitas para la asignación de actividades como datos de entrada para el problema de optimización, tal como se efectúa en el modelo M3. Con ello, se podrán considerar en conjunto las decisiones de corto y mediano plazo, buscando el mayor beneficio para la organización y las empresas con quienes se trabaja y visitan.

IX. Conclusiones

El análisis de las labores de los expertos de prevención y el planteamiento de problemas de optimización para la asignación de tareas permitieron cumplir con los objetivos de este trabajo. Particularmente, se exploraron diferentes modelos de optimización para mejorar la distribución de las tareas de los expertos, obteniéndose mejores resultados que para la solución actual de la ACHS. Específicamente, para los principales indicadores se obtuvieron las mejoras que se encuentran resumidas en la Tabla 6.

Tabla 6: Variación de la solución del modelo propuesto (M3) en contraste con la ACHS.

	Número de tareas	Número de sucursales	Cambio en la asignación
$\gamma_{CIM} = [0.6, 0.2, 0.2]$	+12%	+14%	19%
$\gamma_{CIM} = [0.2, 0.6, 0.2]$	+7%	+7%	19%
$\gamma_{CIM} = [0.2, 0.2, 0.6]$	+11%	+12%	24%

El uso del modelo propuesto permite explicitar la relevancia de los distintos elementos de la función objetivo, logrando distintos propósitos según requiera la organización. Por ejemplo, el número de sucursales que es posible visitar aumenta con la importancia relativa de la criticidad, aunque un aumento en el peso de la cobertura permite realizar toques en casas matrices y sucursales con mayor relevancia en el mes correspondiente. El modelo propuesto también permite establecer lineamientos cuyo ranking de importancia sea crítico, asignando siempre las tareas asociadas a esos lineamientos sujeto a la disponibilidad de tiempo de los expertos.

Los cambios en los modelos o escenarios para una misma formulación generan cambios en la asignación inferiores al 25% de las tareas que se distribuyen en la ACHS. De esta forma, los resultados son consistentes con las decisiones que se toman actualmente, modificándose solo una fracción de las tareas según los diferentes propósitos que se tengan. Por ejemplo, aumentar la cobertura o realizar las tareas de mayor importancia.

La formulación multiobjetivo del problema de optimización permite explicitar los distintos aspectos involucrados en la función objetivo del modelo, favoreciendo la toma de decisiones estratégicas. Específicamente, uno de los aspectos de mayor novedad con relación a la planificación actual de la ACHS consiste en incluir como información de entrada del modelo los toques históricos y esperados, permitiendo planificar mensualmente a partir de un análisis en períodos más extensos.

Finalmente, este trabajo fue realizado con herramientas de optimización que podrían ser empleadas en otros contextos, por lo que se puede extender la formulación a otras organizaciones con

requerimientos similares. Específicamente, otras empresas vinculadas con la distribución de tareas y roles.

X. Referencias

- [1] Amaya, J., Ramírez, H. & Uribe, P. Application of local search to crew scheduling. In: Monografías Matemáticas “García de Galdeano” n° 38, pp 23-32, ISBN: 978-84-15770-81-7, 2013.
- [2] Amaya, J. and P. Uribe. A model and computational tool for crew scheduling in train transportation of mine materials by using a local search strategy. TOP-Journal of the Spanish Society of Statistics and Operations Research. (26)383-402, 2018.
- [3] Amaya, J., Molina, E., Morales, N., and Uribe, P. Optimization model for rostering and crew assignment for train transportation. In: Mining Goes Digital. Mueller et al. (Eds) © Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-367-33604-2. 2019.
- [4] Bouajaja, S., Dridi, N. A survey on human resource allocation problem and its applications. Oper Res Int J 17, 339–369 (2017). <https://doi.org/10.1007/s12351-016-0247-8>
- [5] En-nahli, L., Allaoui, H., & Nouaouri, I. (2015). A Multi-objective Modelling to Human Resource Assignment and Routing Problem for Home Health Care Services. IFAC-PapersOnLine, 48(3), 698-703. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.164>
- [6] Gaspars-Wieloch, H. The Assignment Problem in Human Resource Project Management under Uncertainty. Risks 2021, 9, 25. <https://doi.org/10.3390/risks9010025>
- [7] Dal Poz, Mario R, Gupta, Neeru, Quain, Estelle, Soucat, Agnes L.B, World Health Organization. et al. (2009). Handbook on monitoring and evaluation of human resources for health: with special applications for low- and middle-income countries. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/44097>
- [8] Kabene, S.M., Orchard, C., Howard, J.M. et al. The importance of human resources management in health care: a global context. Hum Resour Health 4, 20 (2006). <https://doi.org/10.1186/1478-4491-4-20>

XI. Anexos

A. Preguntas de las entrevistas

1. ¿Cómo definirías tu rol?
2. ¿Puedes comentarnos sobre un día típico de trabajo?
3. ¿Prefieres tareas largas y pocas o tareas cortas y muchas?
4. ¿Prefieres tareas remotas o presenciales?
5. ¿Cuál es tu opinión sobre el sistema de planificación de tareas actual?
6. ¿Conoces el plan de incentivos actual de ACHS?
7. ¿Cuáles crees que son los mejores elementos del plan de incentivos actual?
8. ¿Cuáles crees que son los elementos que se deben mejorar o eliminar?
9. ¿Cuáles son tus expectativas laborales de aquí a 3 años?
10. ¿Cuáles son los elementos de tu trabajo que consideras como beneficio aparte de los económicos incluidos en el plan de incentivo actual?

Las respuestas individuales de las entrevistas son de carácter confidencial para la ACHS, por lo que en este trabajo se han señalado solamente las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir de las observaciones de los expertos de prevención.