

Tipo de documento: Tesis de maestría

Master in Management + Analytics

Aplicación de técnicas de optimización combinatoria para la programación de tareas en un club social y deportivo

Autoría: *Falk, Sebastián Martín*

Año académico: *2023*

¿Cómo citar este trabajo?

Falk, S. (2023) "Aplicación de técnicas de optimización combinatoria para la programación de tareas en un club social y deportivo". [*Tesis de maestría. Universidad Torcuato Di Tella*]. Repositorio Digital Universidad Torcuato Di Tella <https://repositorio.utdt.edu/handle/20.500.13098/12098>

El presente documento se encuentra alojado en el Repositorio Digital de la Universidad Torcuato Di Tella bajo una licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 2.5 Argentina (CC BY-NC-SA 2.5 AR)
Dirección: <https://repositorio.utdt.edu>



**UNIVERSIDAD
TORCUATO DI TELLA**

Master in Management + Analytics

**Aplicación de técnicas de optimización combinatoria para la programación de
tareas en un club social y deportivo**

ARGENTINA

Sebastián Martín Falk

Mayo 2023

Tutor: Javier Marengo

Índice General

| | | |
|--------|--------------------------------------|----|
| 1. | Introducción | |
| 1.1. | Resumen | 5 |
| 1.2. | Contexto | 5 |
| 1.3. | Objetivos de la Tesis | 6 |
| 1.4. | Estado del Arte | 7 |
| 2. | Datos | |
| 2.1. | Análisis Exploratorio | 12 |
| 2.2. | Relevamiento de Tareas | 16 |
| 2.3. | Relevamiento de Empleados | 22 |
| 3. | Modelo de Programacion Lineal Entera | |
| 3.1. | Planteo del Modelo matemático | |
| 3.1.1. | Generación de variables de Decisión | 25 |
| 3.1.2. | Planteo de la Función Objetivo | 26 |
| 3.1.3. | Planteo de las Restricciones | 27 |
| 3.2. | Implementación del código | 31 |
| 3.3. | Observaciones de la ejecución | 36 |
| 4. | Análisis de Resultados | 39 |
| 5. | Conclusión | 58 |
| 6. | Referencias Bibliográficas | 59 |

Índice de Figuras

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1: | Cambios en la distribución de las edades de los socios entre 2013 y 2021 | 12 |
| Figura 2: | Status de pago de los socios en 2013 y 2021 | 14 |
| Figura 3: | Distribución de la cantidad de visitantes del club por cada día de la semana | 15 |
| Figura 4: | Cantidad de accesos al club por hora del día | 15 |
| Figura 5: | Definición Clase “Tarea” | 32 |

| | |
|--|----|
| Figura 6: Definición Clase “Datos” | 32 |
| Figura 7: Función que va leer la instancia y cargar los datos | 33 |
| Figura 8: Creación de variable “Tijd” | 33 |
| Figura 9: Restricción 2.1.1 | 34 |
| Figura 10: Función que une la función objetivo, variables y restricciones | 35 |
| Figura 11: Función que ejecuta el modelo para encontrar una solución óptima | 35 |
| Figura 12: Función principal que canaliza todas las demás funciones | 36 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Evolución de la masa societaria | 6 |
| Tabla 2: Relevamiento de las tareas a realizar en la institución | 17 |
| Tabla 3: Puntaje asignado a cada grupo de tarea | 20 |
| Tabla 4: Detalle de los horarios requeridos para la Preparación de Espacios | 22 |
| Tabla 5: Relevamiento de los empleados: sus horarios, skills y francos | 23 |
| Tabla 6: Propuesta de ejecuciones de cada tarea provista por el modelo creado | 39 |
| Tabla 7: Vista de tareas a ser completadas por cada empleado | 41 |
| Tabla 8: Utilización promedio por empleado para tareas de carácter rutinarias | 43 |
| Tabla 9: Vista de tareas por cada “grupo de tareas” | 44 |
| Tabla 10: Vista del cronograma previsto para una tarea específica (días del mes y empleados asignados) | 45 |
| Tabla 11: Vista del cronograma previsto para una tarea específica (días de la semana y empleados asignados) | 45 |
| Tabla 12: Repeticiones efectivas vs repeticiones necesarias, y su impacto medido en “Puntaje perdido” y “horas faltantes” | 46 |

| | |
|--|----|
| Tabla 13: Listado de tareas no previstas a completar en el cronograma resultante, y su impacto en “Puntaje Perdido” y “Horas Faltantes” | 47 |
| Tabla 14: Nivel de eficacia actual en la ejecución de las tareas | 48 |
| Tabla 15: Horas Faltantes por “grupo de tarea” | 48 |
| Tabla 16: Importancia ponderada por “grupo de tarea” para las actividades que quedaron sin ejecutar | 50 |
| Tabla 17: <i>Análisis de Sensibilidad del nivel de eficacia a medida que aumenta la cantidad de empleados</i> | 51 |
| Tabla 18: <i>Puntaje reasignado a algunos grupos de tareas para análisis de sensibilidad</i> | 52 |
| Tabla 19: <i>Importancia ponderada por “grupo de tarea” para las actividades que quedaron sin ejecutar: modelo original vs ajustado</i> | 53 |
| Tabla 20: <i>Utilización % modelo original vs equidad horas entre empleados</i> | 55 |
| Tabla 21: <i>Nivel de eficacia modelo original vs equidad horas entre empleados</i> | 56 |

Capítulo 1: Introducción

1.1 Resumen

Este proyecto está motivado por la necesidad de la utilización de la tecnología y la computación en la planificación de las tareas de un club de Vicente López, Buenos Aires.

Cuando se habla de gestión se hace referencia a la administración que tiene una organización sobre las actividades que se llevan a cabo en ella en el día a día. Una buena gestión implica tener un profundo conocimiento de cada uno de los procesos para así evaluar cada tema en particular y tomar decisiones que ayuden al desarrollo y sustentabilidad del ente. Un club social y deportivo, por más que sea una organización sin fines de lucro, no es la excepción. Este tipo de instituciones cuenta con empleados y socios, y el objetivo es brindarle al socio un servicio de calidad y una agradable experiencia que lo haga volver para garantizar así la sostenibilidad de la institución. Como una empresa depende de sus clientes para subsistir, un club necesita de sus socios para construir su futuro.

La institución en cuestión fue fundada por inmigrantes españoles durante la ola inmigratoria ocurrida en nuestro país. El club cuenta con dos sedes: una sede social, más abocada a temas culturales y conservación de la tradición, y una sede deportiva. La sede deportiva posee instalaciones envidiables en comparación con otros clubes gracias a los terrenos adquiridos en Vicente López. Canchas de tenis, fútbol, paddle, handball, vóley, gimnasio, piletas, parques verdes, salones de usos múltiples, estacionamiento, patio de comidas, parrillas y más. Para dar cuenta de su dimensión, el club tiene aproximadamente 34,000 metros cuadrados.

No hay dudas de que el club se distingue frente a otros de la zona, e incluso de todo el AMBA por su inmensa cantidad de instalaciones y variedad de actividades que ofrece. Sin embargo, la mayúscula infraestructura genera un enorme desafío a la hora de realizar en cada una de las instalaciones, lo que dificulta definir una correcta planificación de las funciones que deben cumplir los empleados.

1.2 Contexto

Desde la asunción de la nueva comisión directiva en 2013, y su reelección ocurrida en 2017 y 2021 recientemente, el club está atravesando un gran proceso de transformación. Esto está

relacionado al hecho de que la generación de inmigrantes que fundó al club ya está dejando de existir, y son los descendientes, junto a un gran número de socios nuevos que no están formalmente ligados a la tradición, quienes deben tomar las riendas de la institución. En este proceso de cambio, el club ha crecido fuertemente en cantidad de socios en los últimos años, lo que implica que existe un mayor uso de las instalaciones y por lo tanto debe haber un mantenimiento acorde.

En este sentido es fundamental primero analizar los cambios que se produjeron en estos últimos dos períodos de gestión, para comenzar a entender la necesidad de replantear el esquema de planificación de tareas.

En primer lugar, es importante hacer foco en la masa societaria, la cual se duplicó en 8 años.

| MASA SOCIETARIA 2013 | MASA SOCIETARIA 2021 | INCREMENTO (%) |
|----------------------|----------------------|----------------|
| 1554 | 3185 | 105% |

Tabla 1: Evolución de la masa societaria

Si bien esto es un buen indicador, en el sentido de que el club tiene “vida” y muchos de sus socios van adquiriendo un sentido de pertenencia, a su vez las demandas de los usuarios se vuelven más recurrentes y exigentes. El hecho de contar con más socios repercute en un uso más intensivo de las instalaciones, lo que requiere de un personal más involucrado en la preparación y adecuación de los espacios para las actividades que se vayan a realizar.

1.3 Objetivos de la Tesis

Este estudio tiene como fin ayudar a la institución a lograr una mejor planificación de las tareas del día a día y así proveer un mejor servicio al socio. En función de este propósito se han definido tres objetivos fundamentales.

El primero es establecer un plan de trabajo mensual para cada uno de los empleados. Una buena estructuración de las tareas que debe realizar cada persona le permitirá al Intendente llevar un mayor control sobre sus subordinados y detectar más fácilmente conflictos de falta de

ejecución de las actividades. Mediante un problema de optimización, se va a buscar maximizar la cantidad de tareas a realizar y así mejorar la calidad de los servicios que presta la institución.

El segundo objetivo es poder medir la eficacia actual en la ejecución de tareas. Para poder mejorar se debe tener un baseline de cual partir y para ello se torna indispensable una métrica cuantitativa. El nivel de eficacia será medido en función del sistema de puntos (importancia) de cada tarea. Será el cociente entre la cantidad de puntos obtenidos por ejecutar una serie de tareas, y la cantidad total de puntos “en juego” que equivale a completar el 100% de las tareas.

$$\text{Nivel de Eficacia \%} = \text{Puntos Obtenidos} / \text{Puntos Totales}$$

El tercer y último objetivo será entender la cantidad de empleados necesarios para completar todas las actividades. Se establecerán grupos de tareas que, valga la redundancia, agrupen a dichas *tareas* que son similares entre sí, para luego entender la necesidad de contratación de trabajadores por grupo. Esto le permitirá a la Comisión Directiva tener un mayor conocimiento de las áreas de trabajo que requieren de más personal, y así reclutar inteligentemente.

1.4 Estado del Arte

Para llevar adelante el primer objetivo identificado (el plan de trabajo mensual por empleado) es necesario contemplar todas las variables que están involucradas en la naturaleza del problema. La instancia de nuestro modelo contiene muchos features. Algunos fueron surgiendo de las conversaciones con los miembros de la directiva de la institución y otros se consideraron teniendo en cuenta el escrito de T. Garaix, M. Gondran, P. Lacomme y E. Mura, N. Tchernev, conocido como *Workforce Linear Programming Combination*. Los autores crearon una definición del *Workforce Scheduling and Routing Problem (WRSP)*, la cual se compone de algunos ítems centrales:

- Skills: cada trabajador tiene sus propias habilidades
- Teaming: algunos tasks requerirán de la participación de más de un trabajador
- Departure & Finished Locations: donde comienzan a trabajar y donde termina, teniendo en cuenta los viajes que deben realizar
- Available Regions: cada empleado tiene preferencias sobre en qué región trabajar

Tanto *Departure & Finished*, como *Available Regions*, no aplican al problema que se está analizando debido a que ocurre todo en el mismo sitio. Todos los espacios de la institución están a *walking distance* para los empleados, y no se pierde tiempo en viajes.

En cuanto la tarea per se, los autores proponen los siguientes rasgos característicos:

- Time window: el horario en el que se debe performar la tarea (ni antes ni después de los límites establecidos).
- Skill requirements: toda tarea requiere de al menos 1 skill para poder ser resuelta
- Processing Time: el tiempo que se demora en completar la tarea
- Location: el sitio donde se desarrolla la tarea para contemplar el tiempo de transporte para el empleado que debe movilizarse.

En el modelo a plantear, no se tendrá en cuenta el “Time Window” dado que se decidió no contemplar horarios específicos de las tareas (por un problema de capacidad de cómputo) y solo se considera el día en que se ejecuta. Por su parte, nuevamente la “location” no aplica a este problema, al desarrollarse todas las tareas en el mismo sitio.

En función de los features definidos, se deberá luego crear las restricciones acorde para darle sentido a las variables y limitar las opciones que no son factibles en la realidad. Respecto de este tema es útil conocer las perspectivas de Osama Yaseen M. Al-Rawi y Taniya Murkherjee. Los autores explican que hay una serie de restricciones comunes a este tipo de problemas:

- 1) El requerimiento de skills en cada uno de los turnos de trabajo
- 2) La necesidad de la consecutividad en las horas de trabajo de una persona
- 3) El requerimiento de skills por cada assignment en específico
- 4) El máximo número de días consecutivos que puede trabajar un empleado
- 5) El mínimo tiempo de ocio entre dos turnos de trabajo que hay que brinda a un empleado
- 6) La consideración de los días francos
- 7) Un máximo de horas diarias trabajadas

Para entender mejor los puntos resaltados respecto a una asignación factible empleado-tarea, se introduce a continuación un paralelismo con otro problema de scheduling con una naturaleza de negocio diferente pero con los mismos objetivos de asignación. El artículo *Healthcare Scheduling in Optimization Context*, busca entender cómo hacer una correcta admisión de los pacientes que precisan ingresar a un sanatorio. Los hospitales tienen una demanda de pacientes, y una capacidad de habitaciones preparadas para internación. El objetivo de este problema es maximizar la cantidad de pacientes que puedan ser admitidos sujeto a las restricciones de capacidad. Las habitaciones están agrupadas por Departamento de Especialización, y los pacientes deben ser asignados a un u otro departamento dependiendo una serie de consideraciones:

- 1) Room Preference: la preferencia del paciente en cuanto al tipo de habitación (single, doble, pabellón, etc)
- 2) Preferred room properties: el equipamiento médico, el staff y las/los enfermeras/os del departamento
- 3) Degree of Specialism: cada departamento tiene su especialización
- 4) Needed Properties: algunos pacientes requieren equipamiento específico no presente en todos los departamentos
- 5) Transfers: el riesgo de transferencia de departamento debe ser minimizado

Al analizar estas restricciones, se puede reconocer que los atributos de Degree of Specialism y Needed Properties son obligatorios para garantizar una asignación factible. Es decir, de nada servirá por ejemplo asignar a un paciente que sufre de problemas cardíacos al departamento de urología, o bien admitir a un paciente de traumatología a un departamento donde solo hay staff clínico. Pero no solo es importante garantizar una asignación factible (que es una restricción mandatoria), sino también construir asignaciones inteligentes. Al modelo no le puede ser indiferente elegir en forma aleatoria entre dos pacientes de traumatología cuando existe una sola habitación disponible del departamento de traumatología. Debe comprender cuál de los dos pacientes priorizar. Para eso, y siguiendo con el rubro de la salud, el texto *Optimization Model for Radiotherapy Patient Scheduling* representa un buen ejemplo para entender el concepto. El artículo se centra en el scheduling de turnos para pacientes oncológicos que deben recurrir al médico en forma repetida para recibir la dosis de radioterapia. El objetivo en

este problema es maximizar la cantidad de pacientes que pueden ser atendidos sujeto a la capacidad de turnos disponibles, pero garantizando una priorización de pacientes en base a los siguientes aspectos:

- la severidad de la enfermedad
- la cantidad de sesiones de radioterapia requeridas
- la frecuencia bajo la cual deben ocurrir las sesiones

Este concepto de relevancia o importancia relativa de los pacientes se utilizará más adelante a la hora de establecer un puntaje para cada una de las tareas. Ese puntaje causará que al momento de maximizar la función objetivo (maximizar la cantidad de tareas a realizar), el algoritmo priorice aquellas con puntaje mayor.

Otro punto a desarrollar en este escrito es la característica de las tareas. Al elaborar el listado de tareas a llevar a cabo se identificaron dos grandes grupos de tareas: las repetitivas y las puntuales. El Framework de Simon: Programmed and Non Programmed Decisions ayuda a entender estos conceptos. El autor explica que las decisiones programadas son aquellas que ocurren en forma rutinaria y repetidamente. Pueden estar estructuradas en un proceso con instrucciones para luego poder ser ejecutadas por los niveles jerárquicos más bajos de una organización sin necesidad de una supervisión constante (este último punto no será tenido en cuenta en este proyecto dado que el club no cuenta con una estructura de empleados muy jerárquica. La figura principal saliente es la del intendente, y luego por debajo de él todas las personas poseen el mismo nivel de jerarquía). Las decisiones no programadas, por el contrario, son complejas, únicas, desestructuradas y difíciles de prever. Precisan de un involucramiento mayor por parte de los *top managers* dado que en muchos casos el nivel de significancia de dichas decisiones es mucho mayor. Como ya se anticipó, en este problema no consideraremos las tareas de carácter puntual.

El cronograma que se desea elaborar retornará como resultado la planificación de un mes completo, y dicho cronograma deberá tener una correcta asignación tarea-empleado-día. Para ello, se ha tomado como referencia el estudio de *E. Muhammad Nazri, B. Abu Bakar and R. Ramli* en el cual se plantea optimizar la asignación de los estudiantes de una universidad a las

respectivas clases. Este análisis tenía como fin maximizar las preferencias de los alumnos sobre en qué cursos inscribirse, pero al mismo tiempo manteniendo un balance en cuanto a:

i) la diversidad en cada una de las aulas. Se buscaba garantizar un equilibrio en cuanto al mix de géneros/razas para lograr una integración de todos los alumnos.

ii) un correcto split entre alumnos más y menos calificados, de modo de garantizar que todos los grupos tuvieran las mismas chances de obtener buenas calificaciones en sus respectivos proyectos.

Los autores han elaborado un problema de programación entera en donde las variables de decisión estarían asociadas a la asignación de un alumno con cierta raza a un determinado proyecto. En términos matemáticos, la variable de decisión contiene tres subíndices: alumno-raza-proyecto. Es una variable binaria que valdrá 1 cuando se cumple con estas tres condiciones.

X_{ijp} valdrá 1 si el estudiante "i", que pertenece a la raza "j", es asignado al proyecto "p"

Este modelo de scheduling logró encontrar la asignación estudiante-raza-proyecto factible y óptima para maximizar las preferencias de los estudiantes. De hecho el estudio realizado contó con 124 estudiantes, de los cuales 75 expresaron que estaban asingados al curso de su máxima preferencia, mientras que 45 confesaron estar en el segundo curso que más les gustaba. Por lo tanto, los resultados muestran que alrededor del 97% de los alumnos quedaron al menos conformes con el curso asignado.

Capítulo 2: Datos

2.1 Análisis Exploratorio

El club cuenta con dos tipos de socios. En primer lugar tenemos al socio activo, el cual se encuentra vinculado a la institución por sus raíces, y/o vínculos familiares. A este socio le interesa tanto la cuota cultural que ofrece la institución, ya sea festividades particulares, o encuentros con sus pares con los que comparte la tradición, como también la cuota deportiva que ofrece el club. En segundo lugar, tenemos a los socios únicamente deportivos, que valga la redundancia, su vinculación es estrictamente deportiva y no cuentan con ningún nexo en cuanto a los orígenes del club.

Habiendo hecho esta distinción, debemos decir que la transformación y crecimiento en la masa societaria se da por un gran incremento en el número de socios deportivos. La siguiente visualización demuestra este cambio.

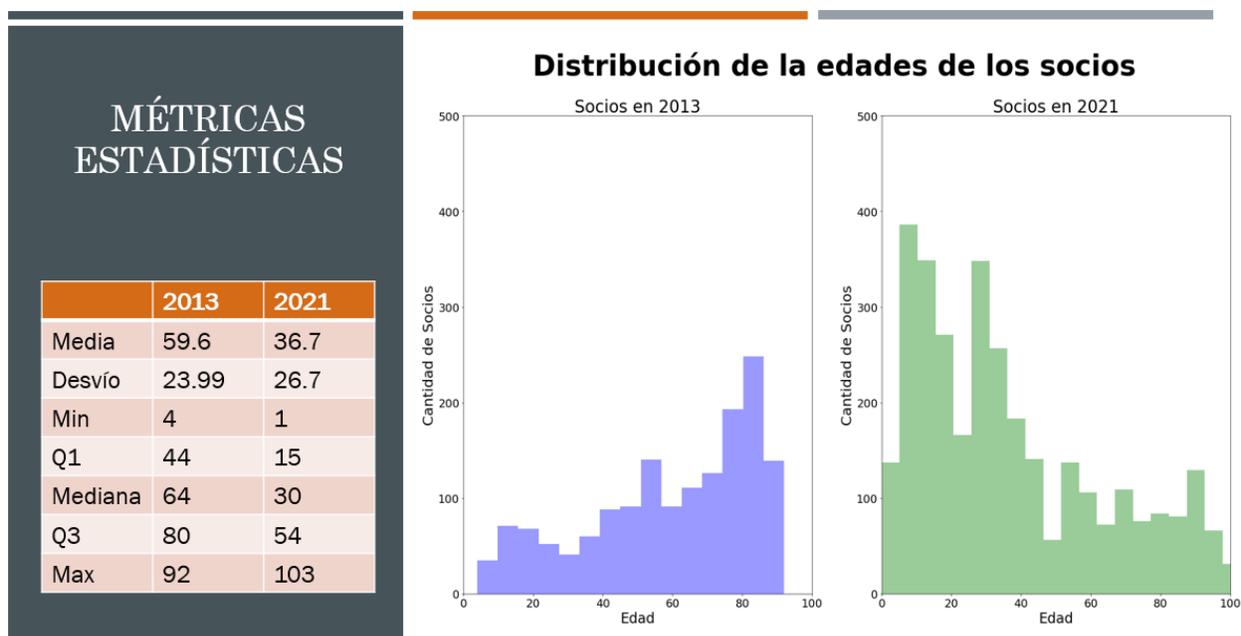


Figura 1: Cambios en la distribución de las edades de los socios entre 2013 y 2021

El club en 2013 contaba en su mayoría con socios por tradición. De hecho en aquel momento no existía una categoría de socio deportivo. Fue una creación de la actual gestión para lograr atraer nuevos socios. Gran parte de los socios en 2013 eran nativos españoles que habían arribado al país con la ola inmigratoria en 1950. Esto explica, en términos estadísticos, la elevada mediana anclada en 64 años de edad. Cuando nos centramos en 2021, vemos una enorme modificación en las proporciones de socios por edad. Hoy en día los jóvenes (en su gran mayoría deportivos) concentran la mayoría de los socios y en tan solo 8 años la mediana de la edad se redujo en más de un 100%.

Sin duda alguna, esta transformación es percibida como una buena noticia no solo por el aumento de socios per se, sino también por el hecho de que contar con una cuota importante de juventud permite pensar que la institución tiene futuro. Ahora bien, ese futuro alentador también dependerá de que la institución sea capaz de garantizar las instalaciones en perfecto estado para que los usuarios puedan disfrutar de ellas. En particular, todo lo relacionado con el deporte requiere de un mantenimiento más frecuente dado el desgaste de las canchas, arcos, pisos, y demás. La institución parece estar transitando una senda de crecimiento, pero para poder mantenerla tiene importantes desafíos por delante. Cabe destacar que hoy en día el club se encuentra en una mejor situación financiera que en el 2013, fundamentalmente por la disminución en la cantidad de socios morosos con respecto al pago de la cuota. Esto le ha permitido al club salir de un grave endeudamiento que poseía en 2013 y a su vez mejorar la predictibilidad de sus ingresos. Esto es indispensable para poder pensar en mejoras en los servicios ofrecidos al socio. El siguiente gráfico muestra esta mejora mencionada.

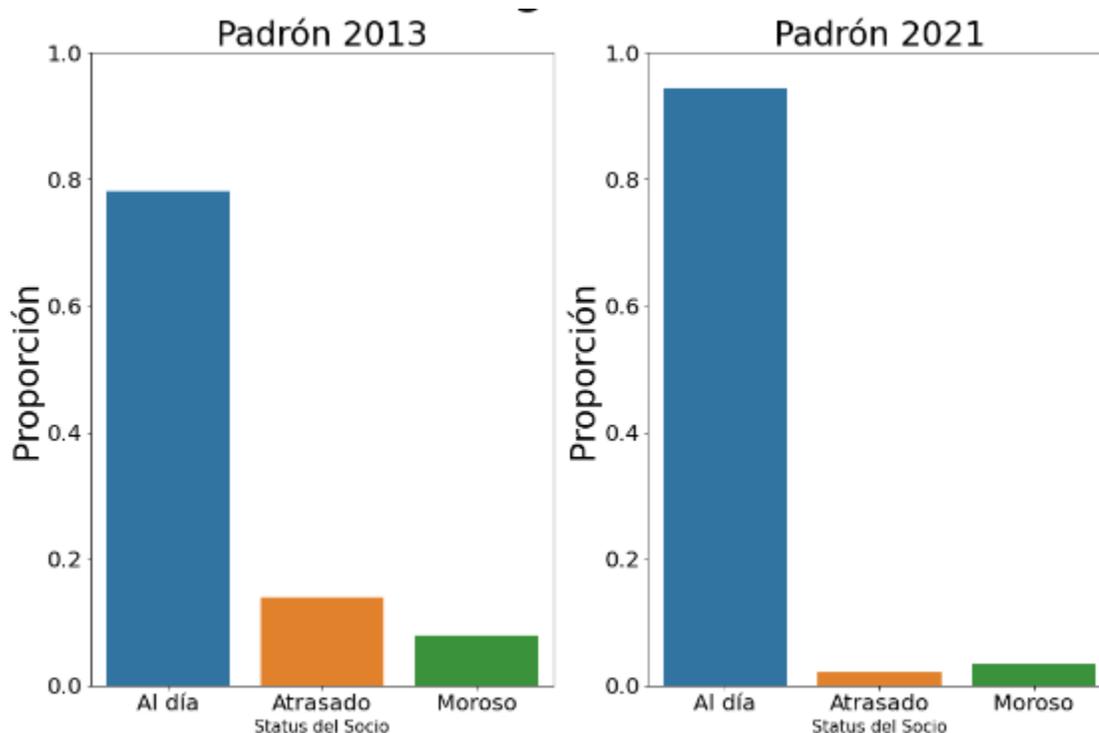


Figura 2: Status de pago de los socios en 2013 y 2021

La proporción de socios con cuotas al día se elevó de 78% a 93%, disminuyendo así la cantidad de socios morosos.

Antes de adentrarnos en la profundidad del problema que queremos resolver, es importante entender la distribución de socios que acuden al club por cada día de la semana, y fundamentalmente el horario. Este dato seguramente estará alineado al nivel de trabajo requerido en dichos momentos, sobre todo pensando en las tareas vinculadas a la preparación de espacios para la realización de las actividades.

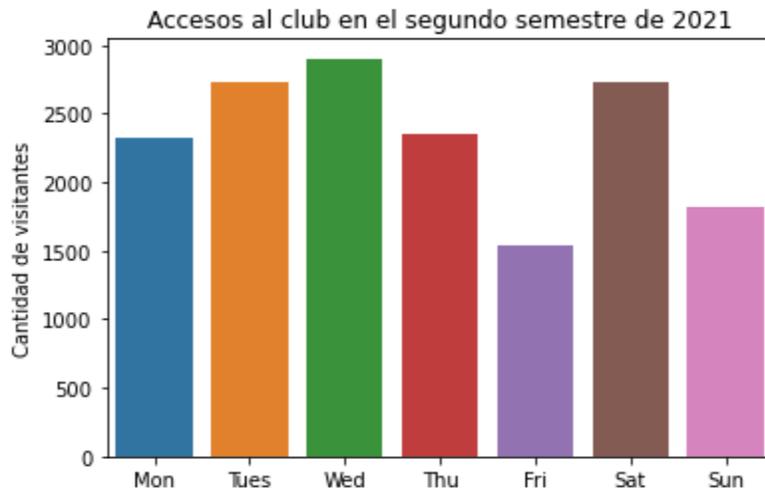


Figura 3: Distribución de la cantidad de visitantes del club por cada día de la semana

La distribución de accesos al club por día de la semana parece ser pareja en general, a excepción de los viernes y los domingos en donde se nota una baja considerable. Esta baja está relacionada con la menor actividad deportiva que sucede estos días. La mayoría de los deportes concentran sus clases de Lunes a Jueves, y luego los sábados es el día en que se compite.

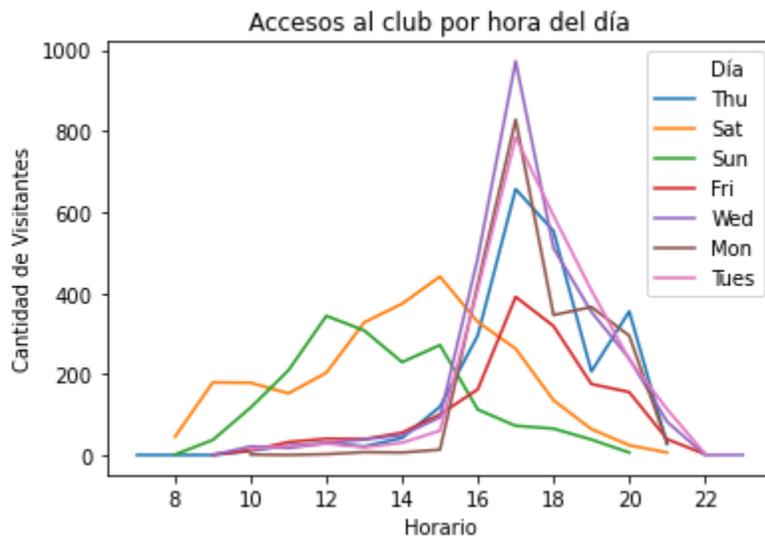


Figura 4: Cantidad de accesos al club por hora del día

Cuando examinamos la distribución de accesos según el horario de cada día de la semana, vemos que los socios acuden en su mayoría en horas de la tarde entre las 17hs y 19hs, una vez que finalizan el horario escolar o laboral

Estos datos surgen del acceso por los molinetes de la institución. Los socios escanean su credencial para ingresar y en forma automática queda registrada la entrada en el sistema de gestión.

2.2 Relevamiento de Tareas

El club actualmente cuenta con un intendente y 19 empleados. Las tareas previstas son muy variadas y numerosas, desde barrer las hojas que caen de los árboles hasta realizar reparaciones de los arcos de las canchas de fútbol. Las tareas requieren distintos skills por parte de los empleados, y también demandan tiempos distintos para poder completarlas. Muchas de ellas son rutinarias o repetitivas, pero también existen algunas tareas ocasionales (preparación de un salón para un evento), otras estacionales (acondicionamiento de la pileta en el verano), y también las tareas *bombero* (así fueron denominadas por el Intendente de la Institución), las cuales tienen dos características principales, lo imprevisto y lo urgente.

Existen diversos factores que vuelven muy compleja la correcta planificación de las actividades a realizar y que afectan en definitiva a su cumplimiento. Entre ellos se pueden mencionar, la poca cantidad de empleados para la gran cantidad de acciones a cumplir, y la falta de seguimiento en la frecuencia que requiere cada tarea. Se sabe además que la fuerza laboral debe mejorar su nivel de skills para poder cumplir con las tareas en forma más eficaz. A partir de esto, se ha decidido llevar a cabo un relevamiento de las actividades a realizar. El estudio consiste en estructurar detalladamente las actividades, para después incluirlas en el modelo que deseamos optimizar. Luego de varias semanas de trabajo, en las que se buscó llegar a un grado de precisión alto en el nivel detalle para lograr acercar el modelo a la realidad, se logró concluir el relevamiento. A continuación, se reflejan las primeras ocho tareas registradas.

| ID Tarea | Espacio del Club | Grupo | Tarea a Realizar | Con Dia de Semana Especifico? | Día de la Semana |
|----------|--|--------------------------|--|-------------------------------|------------------|
| 0 | Hall De Entrada Covadonga | Limpieza General | Limpieza Hall de Entrada Covadonga | NO | |
| 1 | Hall De Entrada Covadonga | Mantenimiento preventivo | Mantenimiento Preventivo Baños Hall Entrad Cov | SI | Lunes |
| 2 | Oficinas Administración, Contaduría y Biblioteca | Limpieza General | Limpieza Contad, Administracion, Biblioteca | NO | |
| 3 | General | Electricidad | Revisión Iluminación General | NO | |
| 4 | Estacionamiento | Estacionamiento | Estacionamiento Turno Mañana | NO | |
| 5 | Estacionamiento | Estacionamiento | Estacionamiento Turno Tarde | NO | |
| 6 | Estacionamiento | Estacionamiento | Estacionamiento Turno Noche | NO | |
| 7 | Cabina Control Entrada Campo Covadonga | Control de Acceso | Control Acceso Cov Turno mañana | NO | |

| ID Tarea | Importancia de la Tarea | Cuánto tiempo lleva completar la tarea (en horas) | # empleados necesarios para ejecutar la tarea | día de mes que empieza la ejecución de tarea | día de mes que finaliza la repetición de tarea | Días para repetición |
|----------|-------------------------|---|---|--|--|----------------------|
| 0 | 8 | 1 | 2 | 1 | 30 | 1 |
| 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 30 | 7 |
| 2 | 4 | 1 | 2 | 1 | 30 | 3 |
| 3 | 6 | 2 | 1 | 1 | 30 | 1 |
| 4 | 7 | 7 | 1 | 1 | 30 | 1 |
| 5 | 7 | 7 | 1 | 1 | 30 | 7 |
| 6 | 7 | 7 | 1 | 1 | 30 | 7 |
| 7 | 7 | 7 | 1 | 1 | 30 | 1 |

Tabla 2: Relevamiento de las tareas a realizar en la institución

Es importante aclarar que este es un listado parcial. El listado completo cuenta con 73 tareas repetitivas.

En dicho relevamiento se tuvieron en cuenta distintas características que describen la naturaleza de cada tarea. Las mismas las detallamos a continuación:

- 1) **“ID tarea”**: se desea tener un número de identificación único para cada tarea
- 2) **“Espacio del Club”**: área geográfica de la institución en que se va a desarrollar la tarea. El club cuenta con una abundante infraestructura distribuida en 46 espacios. La distinción del espacio será útil para distinguir a un lugar físico de otro para aquellas tareas comunes a todos los espacios (ejemplo: la limpieza)
- 3) **“Grupo”**: toda tarea pertenece a una serie que aglutina todas las actividades de la misma naturaleza. Por ejemplo, dos tareas que estén asociadas a Limpieza pero que se desarrollen en distintos espacios del club, permanecerán agrupadas bajo el mismo grupo de tareas
- 4) **“Nombre de la tarea”**: la nomenclatura específica de la actividad a desarrollar
- 5) **“Con día específico?”**: variable booleana. Busca determinar si dicha tarea debe realizarse en un día particular de la semana, o no.
- 6) **“Dia de la Semana”**: en caso de respuesta afirmativa para la variable dicotómica “Con día específico”, se detalla en este campo el día a considerar
- 7) **“Importancia de la tarea”**: exhibe un puntaje para cada tarea (medido entre 1 y 10, siendo 1 muy poco importante y 10 extremadamente indispensable), para establecer un orden de prioridades entre las tareas. El modelo buscará optimizar en función de obtener el puntaje más alto posible. Por lo tanto, en caso de no poder asignar un empleado para todas las actividades previstas (que es muy probable que suceda) deberá priorizar unas sobre otras, y el puntaje elegido será determinante para dicha elección.
- 8) **“Tiempo de concreción”**: refiere al tiempo que se necesita para completar dicha tarea (medido en horas)
- 9) **“Empleados necesarios”**: indica cuántos empleados son requeridos para poder completar dicha tarea, ya sea por la naturaleza de la tarea (i.e., colgar una red de voley requiere de 2 personas) o bien para cumplir con el tiempo de concreción que se indicó

- 10) “**Día de inicio**”: día del mes en el que la tarea puede comenzar a ejecutarse y repetirse, de acuerdo a las condiciones impuestas
- 11) “**Día de fin**”: último día del mes en que la tarea puede ejecutarse o repetirse
- 12) “**Días para Repetición**”: especifica la cantidad de repeticiones necesarias por cada tarea

A partir de diferentes reuniones que se mantuvieron con el Intendente, el presidente de *Campo*, y la vicepresidenta de *Deportes* surgieron algunos aspectos importantes a tomar en consideración:

- Se decidió clasificar a todo el listado de tareas bajo ocho grupos:
 - 1) *Limpieza General*
 - 2) *Limpieza de Baños*
 - 3) *Preparación de espacios*: todo lo necesario a realizar previamente al desarrollo de una actividad, ya sea cultural o deportiva
 - 4) *Mantenimiento Preventivo*: de las instalaciones para evitar el deterioro de la infraestructura
 - 5) *Control de Acceso*: vinculada a garantizar la seguridad dentro de la institución y evitar el ingreso de socios que no tienen la cuota al día
 - 6) *Estacionamiento*: para gestionar la entrada y salida de vehículos, la seguridad y las cobranzas del espacio
 - 7) *Electricidad*: para garantizar el correcto funcionamiento, y efectuar los arreglos correspondientes
 - 8) *Supervisión*: para garantizar que el trabajo de los empleados sea controlado y revisado
- Se estableció el “Puntaje” de las tareas en base a la importancia de estos grupos. Dicha relevancia quedó explicitada con la siguiente tabla, listadas en orden de importancia:

| Grupo de Tareas | Puntaje de Importancia |
|--------------------------|-------------------------------|
| Estacionamiento | 10 |
| Control de Acceso | 10 |
| Preparación de Espacios | 10 |
| Limpieza General | 2-9 |
| Limpieza De Baños | 8 |
| Supervisión | 8 |
| Electricidad | 6 |
| Mantenimiento Preventivo | 3 |

Tabla 3: Puntaje asignado a cada grupo de tareas

El puntaje, que fue acordado con varias autoridades de la institución, no fue nada sencillo de definir. En varias de estas reuniones, la complejidad radica en que todas las tareas son consideradas muy importantes y necesarias. Pero de a poco, a partir de establecer un foco más comparativo y un análisis relativo entre las distintas tareas, se pudo ir logrando establecer un orden de prioridades basado en el siguiente racional para cada grupo de tareas.

- Control de Acceso y Estacionamiento: estos dos grupos son extremadamente importantes. Representan los dos espacios por los que se ingresa y egresa de la institución. No se puede negociar ni unos pocos minutos no tener empleados en estos puntos, ya que o bien podría ingresar cualquier persona no socia, ni invitada a una propiedad privada, sin nadie negarle el acceso, o bien se perdería el control de los abonos por aparcar en el estacionamiento.
- Preparación de Espacios: también es indispensable este grupo. Los socios acuden al club con el fin de realizar una actividad. Debemos garantizar que la puedan llevar a cabo sin problemas. Caso contrario, dejarán de ser socios para buscar otro club donde puedan realizarla.
- Limpieza de Baños: como en cualquier local de cualquier índole (deportivo, gastronómico, u otros) no tener baños limpios desmejora la imagen que se transmite

para “el afuera”. Es muy importante cumplir con este punto, aunque en términos relativos no tiene el mismo nivel de importancia que la preparación de los espacios

- Limpieza General: para este grupo de tareas, el puntaje varía entre 2 y 9 porque hay espacios que son cruciales mantenerlos limpios, pero otros no tanto. Por ejemplo, el Hall de entrada al club siempre debe estar en perfecto estado, pero tal vez la cancha de tejo no es tan necesario limpiarla muy seguido, dado que hoy por hoy tiene un uso reducido.
- Electricidad y Mantenimiento preventivo: estos dos grupos de tareas parecen quedar no tan priorizados, pero no por eso son menos importantes. El puntaje menor se entiende a partir de que no existen urgencias en el día a día para estas tareas. De existir alguna urgencia, será considerada como una tarea más puntual.

Se listaron únicamente las tareas que tienen un carácter repetitivo. Es decir, se excluyeron todas aquellas actividades consideradas “puntuales” o de única vez, dado que no es útil asignar tiempos en tareas que no creemos que se repetirán. Las únicas tareas que precisan de una ejecución en un día específico de la semana son las de *Preparación de espacios*. Por naturaleza, estas actividades están conectadas a eventos previamente programados para una fecha específica. En su mayoría, se comprenden en este grupo las actividades que los colegios que alquilan las canchas del club, realizan en la semana y también los deportes (clases o entrenamientos) post escuela/universidad/trabajo que practican los socios de la institución, que se desarrollan en la semana, y dependiendo la actividad se requiere acondicionar el espacio apropiadamente.

En este sentido, la vicepresidenta de Deportes compartió el siguiente listado de necesidades.

| Preparación de Espacios para Colegios y Escuelas Deportivas | | | | | |
|---|---------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Turno Mañana hasta las 12hs | | | | | |
| Día de Semana | Horas Turno General | Hs Actividad | # Espacios a utilizar | Horas Hombre requeridas | #empleados necesarios |
| Lunes | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Martes | 9 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Miércoles | 9 | 4 | 6 | 6.5 | 2 |
| Jueves | 9 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| Viernes | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sábado | 9 | Depende el fin de semana | 4 | 4 | 2 |
| Domingo | 9 | Depende el fin de semana | 4 | 4 | 2 |

Tabla 4: Detalle de los horarios requeridos para la Preparación de Espacios

Esta tabla detalla la cantidad de horas que duran las actividades que se realizan, los espacios que se van a utilizar para llevarlas a cabo, la cantidad de horas de los empleados que se requieren para preparar el espacio previo a que inicie, y por último cuántos empleados se necesitan en esa preparación. El hecho de que sea una programación demarcada por el día de la semana hace que tengamos que contemplarlo en el modelo. Los únicos días que no tienen una definición precisa de cuántas horas de actividad habrá son Sábado y Domingo. Esto está asociado a que los equipos deportivos juegan torneos en donde compiten de local y visitante, y entonces el uso y preparación está sujeto a este factor. De igual forma, a modo de ser conservadores, se decidió siempre tener empleados asignados en esos días. De no ser requeridos, podrán enfocarse en otras tareas en esos momentos.

2.3 Relevamiento de Empleados

Por otra parte, con la ayuda del Intendente se ha relevado información acerca de los empleados. Necesitamos entender en profundidad el personal con el que contamos, para luego poder establecer el match entre las tareas y los empleados

| ID Empleado | Horario Ingreso Laboral | Horario Egreso Laboral | Día Franco 1 | Día Franco 2 | Habilidad 1 | Habilidad 2 | Habilidad 3 |
|-------------|-------------------------|------------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0 | 7 | 16 | Sábado | Lunes | Electricidad | Preparacion espacios | |
| 1 | 22 | 6 | Martes | Miércoles | Limpieza General | Preparacion espacios | |
| 2 | 7 | 16 | Martes | Miércoles | Limpieza General | Preparacion espacios | Mantenimiento preventivo |
| 3 | 7 | 16 | Sábado | Domingo | | Preparacion espacios | |
| 4 | 8 | 17 | Martes | Miércoles | Limpieza General | Limpieza Banos | |
| 5 | 11 | 20 | Miércoles | Jueves | Limpieza General | Limpieza Banos | |
| 6 | 14 | 23 | Jueves | Viernes | Preparacion espacios | Mantenimiento preventivo | Supervisión |
| 7 | 14 | 23 | Martes | Miércoles | Limpieza General | Preparacion espacios | Supervisión |
| 8 | 14 | 23 | Miércoles | Jueves | Limpieza General | Preparacion espacios | |
| 9 | 6 | 14 | Lunes | Martes | Estacionamiento | | |
| 10 | 14 | 22 | Miércoles | Jueves | Estacionamiento | | |
| 11 | 22 | 6 | Viernes | Sábado | Estacionamiento | | |
| 12 | 7 | 15 | Lunes | Martes | Control de Acceso | | |
| 13 | 14 | 22 | Miércoles | Jueves | Control de Acceso | | |
| 14 | 6 | 14 | Domingo | Lunes | Estacionamiento | | |
| 15 | 13 | 21 | Viernes | Sábado | Control de Acceso | | |
| 16 | 14 | 22 | Domingo | Lunes | Control de Acceso | | |
| 17 | 14 | 22 | Martes | Miércoles | Control de Acceso | Estacionamiento | |
| 18 | 14 | 22 | Jueves | Viernes | Control de Acceso | Estacionamiento | |

Tabla 5: Relevamiento de los empleados: sus horarios, skills y francos

Es importante precisar:

- 1) **“ID empleado”**: debemos tener un número de identificación único por empleado, para hacer la correcta asignación empleado-tarea
- 2) **“Nombre del empleado”**: por cuestiones de confidencialidad, mantendremos los nombres ocultos en este informe
- 3) **“Horario laboral”**: queremos entender la franja horaria en la que cada uno está presente en la institución, para evitar que les sean asignadas tareas fuera de dicha banda horaria
- 4) **“Días Francos”**: Es necesario tener información de los días no laborables para cada empleado dado que no podemos asignar tareas en los días de descanso de las personas
- 5) **“Habilidades”**: es imprescindible comprender los skills de cada empleado para asegurarnos que puedan completar satisfactoriamente las tareas que se les asigne. Los skills están clasificados en función de los mismos grupos de tareas ya definidos anteriormente

Capítulo 3: Modelo de Programación Lineal Entera

3.1 Planteo del modelo matemático

Con el relevamiento concluido, se debe comenzar a plantear el modelo teórico, mediante la formulación matemática de las variables, función objetivo y restricciones, que luego se va a querer llevar a la práctica. Dado que el modelo busca maximizar la eficacia, se deberá de alguna forma establecer una sumatoria de los puntajes de cada tarea, y realizar una asignación óptima para lograr la maximización. A priori, sabiendo que se cuenta con numerosas tareas pero no tantos empleados (ni con tantos skills variados) es de esperar que no se puedan realizar todas las tareas previstas, y que por lo tanto el modelo debe ser capaz de decidir correctamente a qué tareas asignar los recursos disponibles, teniendo en cuenta el nivel de criticidad establecido.

3.1.1 Generación de Variables de Decisión

Para crear las variables y entender su utilidad primero mencionaremos los subíndices involucrados. Los subíndices describirán a las variables que creemos:

Subíndices:

- Llamamos $N = \{1, \dots, |N|\}$ al conjunto de tareas y habitualmente utilizaremos el índice “i” para referirnos a elementos de este conjunto
- Llamamos $J = \{1, \dots, |J|\}$ al conjunto de empleados y habitualmente utilizaremos el índice “j” para referirnos a elementos de este conjunto
- Llamamos $K = \{1, \dots, 7\}$ al conjunto de días de la semana y habitualmente utilizaremos el índice “k” para referirnos a elementos de este conjunto
- Llamamos $D = \{1, \dots, 30\}$ al conjunto de días del mes y habitualmente utilizaremos el índice “d” para referirnos a elementos de este conjunto

A continuación definimos las variables:

Variables

T_{ijd} : Bin. Indica si la tarea "i" es asignada al empleado "j" en el día "d" del mes

O_{id} : Bin. Indica si la tarea "i" fue completada el día "d" del mes

Conjuntos

R: conjunto de tareas semanales: (tarea "i", día del mes "d"). R está incluido en $N \times D$

S: conjunto de asignaciones (tarea "i", empleado "j") incompatibles por falta de skills. S está incluido en $N \times J$

Será necesario también definir algunos parámetros que funcionarán como input del modelo, para referenciarlos al momento del planteo del modelo matemático.

P_i : Puntaje recibido por completar la tarea "i"

E_i : Cantidad de empleados necesarios para resolver la tarea "i"

F_i : Cantidad mínima de días para que ocurra una repetición de la tarea "i"

L_i : Cantidad de horas que lleva completar la tarea "i"

G_{jk} : Vale 1 si un empleado "j" trabaja el día "k" de la semana, 0 caso contrario

3.1.2 Planteo de la Función Objetivo

Una vez definidas todas las variables ya se está en condiciones de plantear la función objetivo. El fin de este proyecto es poder aumentar el nivel de eficacia, a través de una correcta planificación. Es por ello que buscaremos **maximizar** la eficacia.

En el relevamiento de los datos se han listado todas las tareas y para cada una se ha asignado un puntaje P_i para determinar su nivel de importancia. Para optimizar la cantidad de tareas que se podrá realizar se debe maximizar la sumatoria de los puntajes de cada una de las tareas. En términos matemáticos, el planteo es el siguiente:

$$Max \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^D P_i * O_{id}$$

Esta expresión detalla que habrá que realizar una sumatoria de todas las tareas y todos los días del mes (para cada tarea), y así se obtendrá el puntaje total.

3.1.3 Planteo de las Restricciones

En función de los conceptos aprendidos se ha construido el racional para el armado de las restricciones de nuestro problema. En este caso puntual, se ha decidido dividir en grupos las restricciones.

Restricciones vinculadas al tiempo disponible para ejecutar las actividades:

- No puede suceder que un empleado sea asignado a una serie de tareas que le impliquen trabajar las 24 horas del día (en particular vamos a establecer un límite específico al momento de plantear la restricción).

Restricciones Asociadas a la naturaleza de las tareas en sí:

- Implica imponer restricciones de diferente índole, que permitan desarrollar el negocio acorde a sus necesidades. Se las lista a continuación:

i) Algunas tareas pueden requerir más de un empleado para poder ser completadas. El modelo ante estos casos debe ser capaz de asignar a dos o más personas a la misma tarea en el mismo día y horario. Algunos ejemplos pueden ser la movilización de un artefacto grande/pesado, o bien colgar una red de voley, la cual necesita al mismo tiempo una persona en cada extremo.

ii) Existen trabajos de una naturaleza más repetitiva (la gran mayoría). Esto significa que los trabajadores deben ejecutarla frecuentemente. A su vez, dentro de actividades con carácter repetitivo están aquellas que permiten flexibilidad al momento de realizarlas (i.e., queremos barrer las hojas de los árboles una vez a la semana, pero no necesariamente cada 7 días exacto), pero luego existen otras tareas que requieren de una repetición con día específico (i.e., se necesita mover los arcos de fútbol y colocarlos apropiadamente los días jueves, para que se pueda llevar a cabo la escuela deportiva que ofrece la institución).

Por otro lado se encuentran las tareas de una índole más puntual, las cuales también las podemos subdividir en actividades excepcionales, las cuales se realizan por única vez o al menos una vez en un largo período de tiempo (i.e., pintar los bancos de una plaza), y en actividades de emergencia o “bombero”, destinadas a solucionar un problema urgente (i.e., destapar una cloaca).

En lo que refiere a tareas repetitivas y puntuales, la forma en que estructuramos el problema será enfocarnos en contabilizar todas las tareas repetitivas, pero luego establecer un gap de tiempo diario a destinar a las tareas puntuales. No tiene mucho sentido establecer restricciones para las tareas puntuales dada la gran incertidumbre en cuanto a qué tarea, en qué momento, empleados necesarios y tiempo que llevará resolverla. Parece más razonable establecer un grado de utilización $X < 100\%$ por cada empleado y así evitar grandes retrasos (o pérdidas de eficacia) ante el surgimiento de estos imprevistos. Además, en el caso de no surgir ninguna eventualidad, el empleado podría seguir avanzando ese mismo día con tareas programadas ya para el día siguiente, y de ese modo mejorar aún más la eficacia lograda por el modelo.

Restricciones vinculadas a las aptitudes del personal:

- Los perfiles de los empleados varían entre sí, como así también varía la demanda técnica de los trabajos a realizar. Por lo tanto, hay que garantizar un correcto match al momento de asignar tareas con empleados. Este punto es fundamental porque de no cumplirlo se estarían obteniendo resultados incluso más ineficientes que nuestra situación de base. Dicho en otras palabras y para brindar un ejemplo, en la realidad nunca va a suceder que se le exija a un empleado experto en limpieza, que se ocupe de hacer un trabajo de mantenimiento de electricidad.

Habiendo hecho esta aclaración se procede a desarrollar la matemática y la lógica de las restricciones:

1) Restricciones vinculadas al tiempo disponible para ejecutar las actividades

1) Un empleado puede trabajar a lo sumo 7 horas diarias en las tareas rutinarias

$$\sum_{i \in N} L_i * T_{ijd} \leq 7 \quad \forall d \in D, \forall j \in J$$

Los empleados permanecen nueve horas en la institución, de las cuales una la utilizan para almorzar. De las restantes 8 se busca que como máximo utilicen siete horas a tareas repetitivas, para tener un stock mínimo de seguridad de una hora para tareas puntuales.

2) Restricciones asociadas a la naturaleza de las tareas:

2_1) Cada tarea debe contar con un número específico de trabajadores para poder comenzar a ser resuelta en cierto día d (Conexión T_{ijd} y O_{id})

$$\sum_{j \in J} T_{ijd} = E_i * O_{id} \quad \forall i \in N, \forall d \in D$$

donde E_i refiere a la cantidad de empleados requeridos en la tarea i . De no contar con los empleados indicados, la tarea no podrá ser completada.

2_2) Si un empleado trabaja en una tarea i en un día d del mes, y d es el día k de la semana, entonces obligatoriamente ese empleado deberá trabajar ese día de la semana

$$T_{ijd} \leq G_{jk} \quad \forall i \in N, \forall j \in J, \forall d \in D \quad \text{si } d \text{ es el día } k \text{ de la semana}$$

donde G_{jk} es el parámetro que está fijo por la instancia del modelo y vale cero si el empleado "j" tiene franco el día "k"

Las restricciones que combinan subíndices “día de la semana” y “día del mes” son útiles para lograr alineación y consistencia en el modelo. La razón por la cual hacemos esta distinción entre lo semanal y lo mensual es estrictamente por la naturaleza de las tareas. Hay cuestiones que requieren límites semanales (o tareas que precisan de repeticiones un mismo día de la semana), pero por el otro lado la visión del día como momento del mes en el que estamos ubicados nos ayuda a inculcar al modelo entre qué fechas puede ejecutarse una tarea (hay tareas que no es necesario ejecutarlas todas las semanas), además de que nos da una visión más amplia del panorama de tareas, con un potencial de mejora en la planificación. Una visión únicamente semanal no ayuda a evitar tener una mirada cortoplacista y bien micro del escenario.

2_3) Un tarea a lo sumo debe repetir su ejecución en F_i días

$$\sum_{f \in F} O_{if} \leq 1 \quad \forall i \in N, \forall f \in D$$

Se busca aquí indicar al modelo una cantidad de días F_i en el que se desea la repetición de la ejecución. Cuanto menos interesa que se repita dicha tarea, F_i será más grande, y por el contrario cuanto más necesaria sea su repetición F_i deberá ser un número más pequeño. F_i es un parámetro que viene indicado por instancia para cada tarea.

Con esta restricción no estamos forzando a que la tarea se repita cada F_i días, pero esto no es una condición indispensable dado que esperamos que el modelo, en pos de maximizar las cantidad de tareas a completar, “obligue” a que las tareas se repitan todas las veces indicadas por instancia. Por otra parte, exigirle al modelo que ejecute estas tareas cada F_i días como máximo podría ocasionar que el modelo se torne no factible al no contar con empleados suficientes.

2_4) Restricción tareas repetitivas en día específico de la semana

Llamamos R al conjunto de tareas semanales

$$O_{id} = O_{id+7} \quad \forall d < 24, \forall i \in R$$

Retornando a un punto ya comentado anteriormente, para ciertas tareas debemos garantizar que se puedan ejecutar exactamente cada 7 días en un día de la semana en específico, porque se necesita realizar una actividad en particular. Por ejemplo, todos los viernes del mes se debe acondicionar uno de los espacios para que los socios que toman clases de tango puedan desarrollar la actividad sin inconvenientes.

Esta restricción nos dice, o bien se hace esa misma tarea “ i ” el día “ d ” y el día “ $d+7$ ”, o bien no se hace ninguno de los dos días.

3)Restricciones asociadas a las aptitudes del personal:

3) Un empleado no debe ser asignado a completar una tarea si no tiene los skills necesarios para resolverla. Para ello, a modo de reducir la complejidad del código, se evitarán crear dichas variables T_{ijd} incompatibles (en lugar de crearlas e igualarlas a cero $\Rightarrow T_{ijd} = 0$)

T_{ij} NO existe $\forall i \in N, \forall j \in J, \forall d \in D, (i, j) \in S$ cuya asignación sea incompatible por falta de skills

3.2 Implementación del Código

Con el modelo teórico terminado, se puede proceder a la implementación. Se utilizará Python, a través de la interfaz de Spyder, como el espacio donde se desarrollará el código. Para la solución del problema de optimización se utilizara el paquete Cplex.

El objetivo es que el programa creado sea capaz de leer la instancia y retornar como resultado un cronograma mensual (óptimo) con las tareas a efectuar, detallando días (semanales y

mensuales) y empleados asignados a cada una. Por lo tanto, para empezar se necesita que el código lea la instancia que contiene todas las tareas, con sus respectivas características, y para ello debemos crear una Clase, la cual denominaremos “Tarea”.

```
class Tarea:  
    def __init__(self):  
        self.id_tarea = 0  
        self.id_grupo_tarea = 0  
        self.id_espacio_club = 0  
        self.importancia_tarea = 0  
        self.tiempo_concrecion = 0  
        self.empleados_necesarios = 0  
        self.dias_promedio_sin_repeticion = 0  
        self.mismo_dia_semana = 0  
        self.dia_de_semana = 0
```

Figura 5: Definición Clase “Tarea”

La función “_init_” nos permite construir este objeto que está compuesto por una serie de atributos que describen las características de cada tarea.

También se definirá una segunda clase llamada “Datos”, que es la que utilizaremos para leer la instancia. La misma se nutrirá de la clase “Tarea” al momento de leer las tareas, pero además va a contemplar otros datos, como la cantidad de empleados que trabajan en la institución, la cantidad total de tareas a leer, los pares empleado-tarea incompatibles por carencia de skills, y los pares empleado-día de semana incompatible por franco.

```
class Datos:  
    def __init__(self):  
        self.cantidad_empleados = 0  
        self.cantidad_tareas = 0  
        self.tareas = []  
        self.empleados_sin_skills = []  
        self.franco = []  
        self.var_idx = {} # guardamos los índices de las variables  
                        #para poder iterar sobre los distintos subíndices
```

Figura 6: Definición Clase “Datos”

Para poder obtener la información de la instancia se precisa de una función que lea el archivo txt y procese los datos según la clase ya creada

```
def get_instance_data():
    file_location = "listado_tareas.txt".strip()

    instance = Datos()
    instance.load(file_location)
    return instance
```

Figura 7: Función que lee la instancia y carga los datos

Generación de variables

Se debe crear las variables en python para luego poder formular las restricciones. Una vez realizado este paso, se comienza con la generación de cada una de las variables. A modo de ejemplo se muestra a continuación la creación de la variable T_{ijd} .

```
#Generamos T(i,j,d): Indica si la tarea i fue asignada al
#empleado "j" en el dia "d" del mes
for i in range(data.cantidad_tareas):
    for j in range(data.cantidad_empleados):
        for d in range(cantidad_dias_mensuales):

            if [i,j] not in data.empleados_sin_skills:

                # Definimos el valor para (i,j,d)
                data.var_idx[('T',i,j,d)]=var_cnt
                names.append("T"+str((i,j,d)))
                obj.append(0)
                lb.append(0)
                ub.append(1)
                types.append('B')

                # Incrementamos el subíndice para
                #no pisar la variable recién creada
                var_cnt += 1
```

Figura 8: Creación de variable " T_{ijd} "

Generación de restricciones

Lo siguiente es adicionar las restricciones anteriormente detalladas mediante la formulación matemática. A modo de ejemplo se incluirá el código correspondiente a la restricción:

$$\sum_{j \in J} T_{ijd} = E_i * O_{id} \quad \forall i \in N, \forall d \in D$$

```
def restriccion_2_1(my_problem, data):
```

```
    #Para toda tarea "i"
```

```
    for i in range(data.cantidad_tareas):
```

```
        values = []
```

```
    #Para todo dia "d" del mes
```

```
    for d in range(cantidad_dias_mensuales):
```

```
        indices = []
```

```
    #Sumamos todos los empleados "j" necesarios, para ejecutar la tarea "i"
```

```
    for j in range(data.cantidad_empleados):
```

```
        if [i,j] not in data.empleados_sin_skills:
```

```
            indices.append(data.var_idx[("T",i,j,d)])
```

```
            values.append(1)
```

```
    indices.append(data.var_idx[("O",i,d)])
```

```
    #Restamos  $O_{id}$  para que nos queden las variables del lado izq de la ecuación
```

```
    values.append(-data.tareas[i].empleados_necesarios)
```

```
    row = [indices, values]
```

```
    my_problem.linear_constraints.add(lin_expr = [row], senses = ['E'], rhs = [0])
```

Figura 9: Restricción 2_1

Se articula ahora la función "populate by row" la cual va agrupar todas las funciones creadas previamente (la generadora de variables y la generadora de restricciones). También aquí se señala la dirección de nuestro problema, utilizando "my_problem_set_sense", indicando la maximización de la función objetivo. Por último, se exportará un resultado del modelo en formato lp. Este archivo será útil para ir observando, mediante la estructura matemática, las restricciones y variables que crea el modelo y así identificar errores de formulación del código.

```
def populate_by_row(my_problem, data):
```

```

generate_variables(my_problem, data)

# Seteamos direccion del problema
my_problem.objective.set_sense(my_problem.objective.sense.maximize)

# Definimos las restricciones del modelo. Encapsulamos esto en una función.
add_constraint_matrix(my_problem, data)

# Exportamos el LP cargado en myprob con formato .lp.
# Útil para debug.
my_problem.write('modelo.lp')

```

Figura 10: Función que une la función objetivo, variables y restricciones

El modelo se ejecutará, a partir de la función “solve lp”

def solve_lp(my_problem, data):

```

my_problem.parameters.mip.tolerances.mipgap.set(1e-10)
my_problem.parameters.lpmethod.set(my_problem.parameters.lpmethod.values.primal)
my_problem.parameters.mip.strategy.nodeselect.set(1)

# Resolvemos el ILP.
my_problem.solve()

# Obtenemos información de la solución
x_variables = my_problem.solution.get_values()
x_names = my_problem.variables.get_names()
objective_value = my_problem.solution.get_objective_value()
status = my_problem.solution.get_status()
status_string = my_problem.solution.get_status_string(status_code = status)

print('Función objetivo: ',objective_value)
print('Status solución: ',status_string,'(' + str(status) + ')')

```

Figura 11: Función que ejecuta el modelo para encontrar una solución óptima

Por último, la función “main”, será la gran integradora de todas las otras funciones, para a partir de ella comenzar a resolver el problema:

```

def main():

    # Obtenemos los datos de la instancia.
    data = get_instance_data()
    print(vars(data))
    for tarea in data.tareas:
        print(vars(tarea))

```

Figura 12: La función principal que canaliza todas las demás funciones

3.3 Observaciones de la ejecución del código

El modelo programado parece ser bastante eficiente ya que tarda un tiempo bastante reducido en obtener una solución más que aceptable. En particular, el programa logra proveer una solución en tan solo 93 segundos, con un gap de 0.70%. El gap refiere a qué tan cerca está el modelo de alcanzar el óptimo. Esto no implica que los resultados alcanzados no sean óptimos pero para confirmarlo, al programa todavía le resta recorrer algunas soluciones factibles y así garantizar con un 100% de seguridad la solución óptima. Sin duda un gap de 0% siempre será mejor que un gap de 0.7%, sin embargo eso implica tener un costo computacional más alto, que en este caso se traduce en un mayor tiempo de resolución. Para comprobar la teoría, se llevó adelante el test de permitir que el modelo complete la ejecución en su totalidad, logrando así el gap de 0%. Los resultados fueron los esperados, el modelo tardó 3,686 segundos (61.4 minutos) en encontrar la solución óptima. Es decir, aproximadamente una hora adicional para ganar 0.7 puntos porcentuales en gap. Si bien no es un tiempo extremadamente extenso (hay modelos que pueden tardar días en obtener la solución óptima), el incremento en la función objetivo no amerita dicha espera. En particular, la función objetivo aumenta de 5,012 (con un gap de 0.7%- este número será presentado más adelante) a 5,024 puntos, lo que representa una suba del 0.02% y no va a modificar demasiado las conclusiones que se lleguen en cuanto al nivel de eficacia en la ejecución de tareas ni la cantidad de empleados que se deben contratar. Por otra parte, por ejemplo si se desea realizar un análisis de sensibilidad (como el que se presentará en la sección de análisis de resultados), pareciera no ser muy eficiente tener que esperar una hora por cada iteración (cada escenario planteado).

Resumiendo, con fijar el límite de ejecución en un tiempo total de 93 segundos, podemos obtener una solución con un gap de 0.7% (90 segundos para resolver el problema y 3 segundos para sincronizar los resultados). El modelo resultante cuenta con 41,699 variables y 7,186 restricciones

La eficiencia en los tiempos de resolución no fue algo sencillo de lograr. Originalmente el modelo estaba pensado para contemplar el detalle de las horas en las cuales los empleados estarían ejecutando la tarea. Eso implicaba incluir dos variables adicionales:

- 1) Z_{jkh} : Bin. Indica si un empleado "j" está trabajando en la tarea "i" en la hora "h"
- 2) W_{jkh} : Bin. Indica si un empleado "j" comienza a trabajar en la tarea "i" a la hora "h"

Estas variables eran necesarias para plantear las siguientes restricciones:

- 1) Un empleado que trabajó el día k de la semana tuvo que haber comenzado a trabajar en alguna (y solo una) hora de ese día

$$\sum_{h \in H} W_{jkh} = G_{jk} \quad \forall k \in K, \forall j \in J$$

- 2) Un empleado debe trabajar 8 horas de corrido. Debemos garantizar la consecutividad de las horas

$$Z_{jkh} = \sum_{h' = \text{Max}(1, h-7)}^h W_{jkh'} \quad \forall k \in K, \forall j \in J, \forall h \in H$$

No es útil la asignación de una tarea en la hora = 1 y otra asignación a otra tarea en la hora h= 23, porque los empleados (o cualquier persona) no pueden trabajar las 24 horas del día. Es importante aclarar que las tareas no requieren de un horario específico para ser resueltas (en algunos casos sí de un día específico en la semana, pero no la hora), por lo que el cronograma resultante se puede ajustar al turno de trabajo del empleado (mañana, tarde, o noche). En otras palabras, no hay necesidad de establecer restricciones que garanticen que un empleado podrá efectuar la tarea porque la misma se desarrolla en el turno que este está presente, porque no hay horas específicas de ejecución.

- 3) Un empleado no puede ser asignado a un número de tareas que superen la cantidad de horas diarias que trabaja

$$\sum_{i \in N} L_i * T_{ijd} \leq \sum_{h \in H} Z_{jkh} \quad \forall d \in D, \forall j \in J, \forall h \in H \quad \text{si } d \text{ es el día } k \text{ de la semana}$$

Sin embargo, se ha decidido desestimar esta opción dado que el modelado de las horas traía consigo un costo computacional muy alto, y entonces el modelo demoraba mucho tiempo en ofrecer soluciones aceptables.

Siguiendo con esta idea de reducir complejidad, otra estrategia utilizada estuvo vinculada a la restricción $T_{ijd} = 0$ para el par (i, j) incompatible por carencia de skills para resolver la tarea.

Allí en un principio se programó el código para recorrer todas las tareas, todos los empleados y todos los días del mes para garantizar esta limitación, lo cual implicaba también un gran costo computacional. En su lugar, lo que se hizo fue garantizar que en toda restricción que estuviese involucrada la variable T_{ijd} hubiese un filtro para los pares (i, j) factibles. De esa forma, el programa generaba las restricciones requeridas sólo si $T_{ijd} \neq 0$, y así se evitaba tener que recorrer todo el universo de combinaciones posibles.

Capítulo 4: Análisis de Resultados

Para analizar los resultados, es importante verificar nuestros objetivos iniciales y así estructurar los datos acorde a las necesidades. Los análisis resultantes surgen de los resultados expuestos por el código en Python, los cuales fueron exportados a una planilla excel y a partir de la generación de tablas dinámicas y fórmulas avanzadas se ha podido construir la información que se presenta a continuación.

En primer lugar, se elaboró un cronograma con las tareas a realizar en cada día del mes. Esto le permitirá al intendente llevar una mejor planificación en el día a día de las actividades a realizar, y poder evitar caer en el cortoplacismo que carece de una visión estratégica de cómo mejorar el servicio. A continuación observamos los resultados provistos por el modelo en forma de cronograma.

| Tiempo de Concreción x Tarea (en horas) | DIA DEL MES | | | | | | | | | | | | | | | | | Total hs | |
|--|-------------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | | 30 |
| 13 - Mant. Prev. Revisión redes playón covadonga | | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | 1 | 5 |
| 14 - Limpieza Salon Canasta | 2 | 2 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 52 |
| 16 - Limpieza Salon Juvenil | 2 | 2 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 52 |
| 17 - Mant. Prev. Mesas y Sillas Salon Juvenil | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | 2 |
| 18 - Limpieza Salon Presidente | 2 | 2 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 52 |
| 19 - Limpieza Gimnasio Principal | 6 | | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | | 156 |
| 21 - Mant. Prev. Cocina, revision redes Gimnasio Principal | | | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | 1 | | | 5 |
| 22 - Limpieza Gimnasio Aparatos | | | | | | | 4 | | 4 | | | | | | | 4 | | | 16 |
| 24 - Limpieza Salon Yoga | 2 | | | | | | | 2 | | 2 | | | | | | | 2 | | 10 |
| 29 - Limpieza Playón Hórreo | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 25 |

Tabla 6: Propuesta de ejecuciones de cada tarea provista por el modelo creado

Es importante realizar una serie de aclaraciones sobre las tabla presentada. La primera es que solo muestra un subconjunto de tareas. El listado completo consta de las 73 tareas relevadas para los 30 días del mes. La segunda tiene que ver con los días del mes (que van del 1 al 30), en donde la tabla muestra un salto del día 8 al día 21. Esto es meramente por un tema de falta de espacio en la tabla de este informe. No era posible mostrar todos los días y por eso se ocultaron algunos de ellos. La decisión de ocultar los días más cercanos a mitad de mes tiene como fin que el lector comprenda que el cronograma comienza el primer día del mes y finaliza en el día 30 (último día del mes). Si se ocultase los primeros o los últimos diez días del mes, esa idea podría no quedar muy clara.

Cada fila de la tabla muestra las tareas a realizar y cada columna representa el día del mes. Los valores mostrados para cada tarea y día del mes refiere al tiempo de concreción de la tarea. Por ejemplo, la tarea “Limpieza del Salon Canasta” lleva dos horas en concretarse. Por otro lado, esta visión ya nos permite observar el grado de repeticiones que arrojó el programa según la tarea (por instancia se había indicado la frecuencia promedio necesaria en cada caso). Por lo visto el Salon Canasta requiere de una limpieza diaria, mientras que la limpieza del Salon de Yoga requiere ser limpiado una vez por semana. Estas diferencias están vinculadas a la intensidad en el uso de cada uno de los espacios.

Por último, esta vista resalta también la cantidad de horas mensuales a dedicar en cada tarea (columna “Total hs”). Entre las provistas en esta imagen, las más requeridas son la limpieza del Gimnasio Principal, Salón Canasta, el Salón Juvenil y el Salon Presidente.

El listado de tareas puede ser analizado por el empleado asignado para realizarlas. Por cuestiones de confidencialidad, no se mostrarán los nombres de los empleados.

| Empleado ID = 7 | DIA DEL MES | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Horas Totales | 7 | | | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 6 | 7 | | | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | |
| Limpieza General | 4 | | | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | | | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | |
| 0 - Limpieza Hall de Entrada Covadonga | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 2 - Limpieza Contad, Administracion, Biblioteca | 1 | | | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | 1 | |
| 14 - Limpieza Salon Canasta | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | |
| 16 - Limpieza Salon Juvenil | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | | | |
| 18 - Limpieza Salon Presidente | | | | 1 | | 1 | | | | | | | 1 | | 1 | | | |
| 19 - Limpieza Gimnasio Principal | 3 | | | | | | | 3 | | 3 | | | | | | | 3 | |
| 22 - Limpieza Gimnasio Aparatos | | | | | | | 2 | | 2 | | | | | | | 2 | | |
| 30 - Limpieza Playón horreo | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | | | |
| 40 - Limpieza Pasillo Angosto y Largo Lado Deportes | | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 45 - Limpieza Oficina Tennis | | | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | 1 | | |
| 10 - Limpieza Cancha playón Entrada Cov | | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | |
| Mantenimiento preventivo | | | | 1 | | 1 | | | | | | | 1 | | | 1 | | |
| 29 - Mantenimiento Preventivo Parrillas Quincho | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 38 - Mantenimiento Preventivo Revisión Redes Cancha Jockey | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | |
| Supervisión | 3 | | | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | |
| 50 - Control Accesos Cerrados General | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 67 - Check in Turno Mañana | 1 | | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | 1 | 1 | |
| 72 - Supervisión avanzada Turno Tarde | 1 | | | 1 | | | 1 | | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |

Tabla 7: Vista de tareas a ser completadas por un empleado

La tabla muestra los grupos de tareas que el empleado con ID = 7 se encuentra apto para hacer. En este caso puntual, se observa que la persona en cuestión tiene skills para realizar tareas de Limpieza General, Mantenimiento Preventivo y Supervisión. Por eso el modelo solo le asignó tareas de este grupo.

Notar también que hay algunos días del mes en los cuales esta persona no tiene ninguna tarea asignada. Esto es porque en esos días le corresponden los francos. Es importante aclarar aquí que en el modelo se ha asumido que el día 1 del mes es un Lunes. Por lo tanto, se puede descifrar que este empleado tiene francos los días Martes y Miércoles (los días 2, 3, 9, 10, 16, 17, 23, 24 y 30)

A partir de la vista de tareas por empleado, podemos fácilmente calcular la utilización mensual de cada uno de ellos, como lo vemos a continuación.

| ID Empleado | Horas Trabajadas | Utilización % |
|-------------|------------------|---------------|
| 0 | 126 | 82% |
| 1 | 146 | 95% |
| 2 | 147 | 95% |
| 3 | 113 | 73% |
| 4 | 147 | 95% |
| 5 | 154 | 100% |
| 6 | 150 | 97% |
| 7 | 154 | 100% |
| 8 | 147 | 95% |
| 9 | 140 | 91% |
| 10 | 126 | 82% |
| 11 | 154 | 100% |
| 12 | 140 | 91% |
| 13 | 154 | 100% |
| 14 | 147 | 95% |
| 15 | 154 | 100% |
| 16 | 140 | 91% |
| 17 | 147 | 95% |
| 18 | 133 | 86% |

Tabla 8: Utilización promedio por empleado para tareas rutinarias

El nivel de utilización es bastante elevado en general para cada uno de los empleados. Es importante recordar que la utilización está únicamente enfocada en horas de tareas rutinarias. Siempre existe una porción de horas (difíciles de predecir) a dedicar a tareas puntuales que no estamos considerando aquí.

También se pueden hacer filtros por grupo de tarea para comprender mejor las tareas que están comprendidas en ellas, y los días en los cuales el modelo ha decidido que deben ser completadas. La siguiente captura muestra el detalle de la tareas de *Mantenimiento Preventivo*

| Horas Mensuales | DIA DEL MES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Total |
|--|-------------|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 6 | 8 | 9 | 10 | 13 | 15 | 16 | 17 | 20 | 22 | 23 | 24 | 27 | 29 | 30 | | |
| Mantenimiento Preventivo | 6 | 6 | 2 | 6 | 6 | 6 | 1 | 6 | 6 | 6 | 3 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 96 | |
| 1 - Baños Hall Entrad Cov | | 2 | | | | 2 | | | | 2 | | | | 2 | | | | 2 | 10 | |
| 13 - Revision redes playón entrada covadonga | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | 5 | |
| 17 - Mesas y Sillas Salon Juvenil | | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 2 | |
| 21 - Cocina, revision redes Gimnasio Principal | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | 5 | |
| 26 - Baños, Mesas y Sillas Mesas campo | | | | 3 | | | | 3 | | | | 3 | | | | 3 | | | 12 | |
| 28 - Mesas y Sillas Quincho | | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 2 | |
| 29 - Parrillas Quincho | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | 5 | |
| 31 - Revision Redes Playón Horreo | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | 5 | |
| 35 - Revision Redes Parque Vial Costero | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | 5 | |
| 38 - Revision Redes Cancha Jockey | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | 5 | |
| 41 - Revisión Alambrados Pasillo largo y angosto Lado Dep | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | 5 | |
| 42 - Banos Cancha Futbol 11 | | | | 3 | | | | 3 | | | | 3 | | | | 3 | | | 12 | |
| 46 - Arcos, tablero rdo deportivo General | | | | | | | 1 | | | | | | | | 1 | | | | 2 | |
| 48 - Banos Chiringuito | 3 | | | | 3 | | | | 3 | | | | 3 | | | | 3 | | 15 | |
| 9 - Mantenimiento Preventivo Mesas y Sillas Contad, Administracion, Biblioteca | | | | | | | | | | | 3 | | | | 3 | | | | 6 | |

Tabla 9: Vista de tareas por cada “grupo de tareas”

Los filtros por tarea ayudan a entender qué empleados estarán trabajando en ellas a lo largo del mes.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Estacionamiento Turno Mañana | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Galeano, Maximiliano | | | 7 | | | | 7 | | 7 | | | 7 | | | | 7 | | |
| Roschpunkin, Félix | | 7 | | 7 | 7 | 7 | | | | | 7 | | 7 | 7 | 7 | | | 7 |
| Gutierrez, Fabián | 7 | | | | | | | 7 | | 7 | | | | | | | 7 | |

Tabla 10: Vista del cronograma previsto para una tarea específica (días del mes y empleados asignados)

Esta misma vista también se muestra por día de la semana.

| Limpieza Hall Entrada | Lunes | Martes | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
|----------------------------------|--------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| ID Empleado | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 |
| 2 | | | | | | 1 |
| 4 | | | 1 | | | |
| 5 | 1 | 1 | | | | |
| 7 | | | | | 1 | |
| 8 | | 1 | | 1 | 1 | |

Tabla 11: Vista del cronograma previsto para una tarea específica (días de la semana y empleados asignados)

La captura de la Tabla 11 muestra el detalle para la tarea “Limpieza Hall de Entrada”. Es evidente que esta actividad debe desarrollarse todos los días de la semana, y para ello siempre necesita de dos empleados para ser resuelta. Los empleados 1,2,4,5,7 y 8 tienen los skills para resolverla y por eso fueron asignados.

¿Cuántos empleados hay que contratar?

Ya construido el cronograma con sus distintas variantes, el próximo paso es entender si los empleados actuales son suficientes para toda la carga de trabajo a cubrir, o si la Comisión Directiva debe salir a contratar personal. En este sentido se deben medir dos aspectos principales. El primero implica verificar si el cronograma resultante contiene para todas las tareas previstas en él, el número de repeticiones requeridas para cada una (indicada por instancia). Es posible que ante la presencia de las restricciones ya descritas, no en todos los casos se logre esto. Lo segundo será evaluar si el modelo optó por no contemplar algunas tareas del relevamiento (también por falta de capacidad).

Empezamos analizando la cantidad de repeticiones.

| Tarea | # de repeticiones efectivas | # de repeticiones necesarias | # de repeticiones faltantes | Puntaje de tarea | Puntaje perdido | Puntaje obtenido | Grupo tarea | Tiempo de Concreción | Horas faltantes |
|--|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------|-----------------|------------------|--------------------------|----------------------|-----------------|
| 0 - Limpieza Hall de Entrada Covadonga | 26 | 30 | 4 | 8 | 32 | 208 | Limpieza General | 2 | 8 |
| 2 - Limpieza Contad, Administracion, Biblioteca | 9 | 10 | 1 | 4 | 4 | 36 | Limpieza General | 2 | 2 |
| 3 - Revision Iluminación General | 21 | 30 | 9 | 6 | 54 | 126 | Electricidad | 2 | 18 |
| 1 - Mantenimiento Preventivo Baños Hall Entrad Cov | 4 | 4 | 0 | 3 | 0 | 12 | Mantenimiento preventivo | 2 | 0 |

Tabla 12: Repeticiones efectivas vs repeticiones necesarias, y su impacto medido en “Puntaje perdido” y “horas faltantes”

En esta tabla de resultados se puede ver un análisis detallado por tarea del número de repeticiones obtenidos vs el target necesario. Por ejemplo, la tarea “Limpieza Hall de Entrada Covadonga” está programada para repetirse unas 26 veces al mes, mientras que el target es

que se repita todos los días (30 veces). Como resultado, se obtiene el número de repeticiones faltantes, y tomando como referencia el puntaje asignado a dicha actividad y también el tiempo que lleva concretar se puede estimar el “Puntaje Perdido” y las “Horas Faltantes”. Dado que para esta tarea, las repeticiones faltantes son 4 en el mes, si esta tarea tiene puntaje de 8 puntos, los puntos perdidos son $4 \times 8 = 32$. En cuanto a horas, si estas 4 repeticiones llevan 1 hora en ser completadas (“tiempo de concreción”), entonces la cantidad de horas faltantes será $4 \times 1 = 4$.

Lo segundo a evaluar es si el programa no contempló alguna/s tarea/s para el cronograma. Efectivamente, la siguiente imagen muestra las tareas no capturadas.

| ID Tarea | Nombre Tarea | Grupo Tarea | Puntaje Tarea | Tiempo de Concreción | # repeticiones necesarias | Puntaje perdido | Horas faltantes |
|----------|---|--------------------------|---------------|----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|
| 9 | Mesas y Sillas Contad, Administracion, Biblioteca | Mantenimiento preventivo | 3 | 3 | 2 | 6 | 6 |
| 12 | Lunes Turno Tarde | Preparacion espacios | 10 | 7 | 4 | 40 | 28 |
| 15 | Mesas y Sillas, Cocina y Banos Salon Canasta | Mantenimiento preventivo | 3 | 3 | 2 | 6 | 6 |
| 20 | Martes Turno mañana | Preparacion espacios | 10 | 6 | 4 | 40 | 24 |
| 23 | Limpieza Vestuarios | Limpieza General | 8 | 3 | 30 | 240 | 90 |

Tabla 13: Listado de tareas no previstas a completar en el cronograma resultante, y su impacto en “Puntaje Perdido” y “Horas Faltantes”

La importancia de las tareas, medidas a través del sistema de puntos establecido, no solo ayudará a estimar la cantidad de trabajadores adicionales, sino también permitirá medir el nivel de eficacia actual, comparando el “Total Puntos obtenidos” vs “Total Puntos en Juego”. El total de puntos obtenidos se obtiene del neto entre “Puntos en juego” y “Puntos Perdidos”.

Aclarado este punto, el nivel de eficacia es el siguiente.

| | |
|--------------------------|------------|
| Total Puntos en Juego | 7586 |
| Total Puntos obtenidos | 5012 |
| Nivel de Eficacia | 66% |

Tabla 14: Nivel de eficacia actual en la ejecución de las tareas

Una eficacia del 66% no parece ser muy alta. Hay una gran cantidad de tareas/repeticiones que permanecen sin ser atendidas. Alrededor de un tercio del trabajo (medido en importancia) no se está llevando a cabo, y esto ya es una clara señal de que es necesario contratar más personal. No obstante, se debe ganar claridad aún en cuanto a los skills que escasean.

| Grupo de tareas con horas faltantes | | | | |
|--|--------------|---|--------------------------------------|--------------------------------|
| | Total | Horas de Tareas con falta de ejecuciones | Horas de tareas sin ejecución | Share % horas faltantes |
| Limpieza General | 202 | 64 | 138 | 24% |
| Mantenimiento preventivo | 26 | 0 | 26 | 3% |
| Electricidad | 9 | 9 | 0 | 1% |
| Supervisión | 44 | 44 | 0 | 5% |
| Control de Acceso | 5 | 5 | 0 | 1% |
| Estacionamiento | 0 | 0 | 0 | 0% |
| Preparacion espacios | 188 | 0 | 188 | 22% |
| Limpieza Banos | 382 | 22 | 360 | 45% |
| Total horas faltantes | 856 | 144 | 712 | |
| Empleados Adicionales Requeridos | 5.6 | 0.9 | 4.6 | |

Tabla 15: Horas Faltantes por "grupo de tarea"

De la medición en base a horas faltantes, se desprenden dos conclusiones relevantes.

En primer lugar, en términos generales para poder cumplir con todo el conjunto de tasks previstos necesitamos contratar ~6 empleados, de los cuales ~5 vendrán a suplir tareas que el programa no logró capturar en el modelo, y ~1 empleado para lograr completar la totalidad de repeticiones que se exigen realizar.

En segundo lugar, el hecho de visualizar este análisis por grupo de tareas nos permite entender cuáles son los grupos con más y menos necesidad. En cuanto a horas, pareciera que no se necesitan empleados adicionales con skills para trabajar en *“Mantenimiento Preventivo”*, *“Electricidad”*, *“Control de Acceso”* y *“Estacionamiento”* y *“Supervisión”*. Es decir, el staff actual parece tener capacidad para abarcar todo el espectro de eventos rutinarios. Sin embargo, para las categorías *“Limpieza General”*, *“Preparación de Espacios”* y *“Limpieza Banos”* sí parece existir una necesidad de recursos humanos extras. De hecho, estas tres categorías representan el 90% de las horas faltantes totales.

Si nos guiamos estrictamente por el factor “horas faltantes”, y dado que el presupuesto para contrataciones es acotado, la Comisión Directiva de la Institución debería priorizar la contratación para Limpieza de Baños como primera decisión. Como segunda prioridad *“Limpieza General”* y en tercer lugar *“Preparación de Espacios”*. Sin embargo, el orden de priorización no debe estar direccionado únicamente por la cantidad de tareas faltantes, sino que también se debe considerar la importancia de cada tarea. Es decir, la elección final debe contemplar un promedio ponderado por la cantidad y la calidad de las actividades a completar. Esto no quiere decir que la visión de “horas faltantes” ignore la importancia de las tareas. De hecho, las horas faltantes pueden surgir por dos razones: o bien por no contar con el empleado para poder completar la tarea, o bien por haber decidido priorizar otras tareas (de importancia mayor). Lo que sí es cierto es que con las horas faltantes resultantes del modelo, debemos aplicar esta visión de “importancia ponderada” y no guiarnos por la cantidad de horas totales necesarias en cada grupo de tareas. Para eso, a continuación se procede a realizar este análisis de importancia ponderada.

| Orden de Priorización de Contratación según la Importancia Ponderada | | | | |
|--|----------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| | Importancia Promedio | FTEs necesarios | Importancia Ponderada | Orden de Priorización % |
| Limpieza General | 6.6 | 1.3 | 1.6 | 20% |
| Mantenimiento preventivo | 3.0 | 0.2 | 0.1 | 1% |
| Electricidad | 6.0 | 0.1 | 0.1 | 1% |
| Supervisión | 8.0 | 0.3 | 0.4 | 5% |
| Control de Acceso | 7.0 | - | - | 1% |
| Estacionamiento | - | - | - | 0% |
| Preparacion espacios | 10.0 | 1.2 | 2.2 | 28% |
| Limpieza Banos | 8.0 | 2.5 | 3.6 | 45% |
| Empleados Adicionales Requeridos | | 5.6 | | |

Tabla 16: Importancia ponderada por “grupo de tarea” para las actividades que quedaron sin ejecutar

Para cada grupo de tareas se calculó la importancia promedio, que es el puntaje promedio de todas las tareas que se encuentran bajo cada uno de los rubros. Luego se ponderó la importancia promedio por la cantidad de empleados necesarios. En definitiva, el resultante de ese producto (Importancia promedio * FTEs necesarios) es el que define el esquema de priorización para la contratación de personal.

Observando los resultados, la categoría más prioritaria a cubrir es la de Limpieza de Baños. Es decir, en caso de poseer el presupuesto para solo contratar una persona, deberá ser de este rubro. En este caso, la importancia coincide con lo evaluado bajo el esquema horas faltantes. Coincide el hecho de que la categoría que requiere más empleados (2.5) es la más importante. No obstante, esto no sucede con la segunda categoría en nivel de prioridad, la cual es

“Preparación de Espacios”, ya que entonces es más urgente contratar 1.2 empleados de Preparación de espacios que 1.3 necesarios para Limpieza General.

A continuación, se puede observar cómo comienza a crecer el nivel de eficacia a medida que se adiciona un empleado, partiendo de la situación actual.

| Nivel de Eficacia | Cantidad de empleados | Empleados adicionales |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| 66% | 19 (situación actual) | - |
| 75% | 20 | 1 |
| 81% | 21 | 2 |
| 86% | 22 | 3 |
| 91% | 23 | 4 |
| 96% | 24 | 5 |
| 100% | 25 | 6 |

Tabla 17: *Análisis de Sensibilidad del nivel de eficacia a medida que aumenta la cantidad de empleados, manteniendo fija la importancia asignada a las tareas*

A modo de entender en mayor profundidad el impacto del puntaje asignado a las tareas, se propuso hacer otro análisis de sensibilidad en el cual se alteraron los puntajes de algunos grupos de tareas, sin modificar el orden de prioridad entre ellos (simplemente la distancia relativa en el puntaje). Con esta modificación queremos entender si hay cambios en cuanto a las conclusiones del personal necesario a contratar. En particular, se evalúan los siguientes impactos.

| Grupo de Tareas | Puntaje de Importancia previo | Puntaje de Importancia ajustado |
|--------------------------|--------------------------------------|--|
| Estacionamiento | 10 | 15 |
| Control de Acceso | 10 | 15 |
| Preparación de Espacios | 10 | 15 |
| Limpieza General | 2-9 | 2-9 |
| Limpieza De Baños | 8 | 6 |
| Supervisión | 8 | 6 |
| Electricidad | 6 | 5 |
| Mantenimiento Preventivo | 3 | 3 |

Tabla 18: Puntaje reasignado a algunos grupos de tareas para análisis de sensibilidad

Los resultados se muestran a continuación junto a los obtenidos previamente para facilitar la comparación.

| | Previo | Ajustado | Previo | Ajustado |
|---|-----------------|------------|-------------------------|----------|
| | FTEs necesarios | | Orden de Priorización % | |
| Limpieza General | 1.3 | 1.3 | 20% | 20% |
| Mantenimiento preventivo | 0.2 | 0.1 | 1% | 0% |
| Electricidad | 0.1 | 0.1 | 1% | 1% |
| Supervisión | 0.3 | 0.3 | 5% | 5% |
| Control de Acceso | - | - | 1% | 1% |
| Estacionamiento | - | - | 0% | 0% |
| Preparacion espacios | 1.2 | 0.9 | 28% | 21% |
| Limpieza Baños | 2.5 | 2.9 | 45% | 52% |
| Empleados Adicionales Requeridos | 5.6 | 5.8 | | |

Tabla 19: *Importancia ponderada por “grupo de tarea” para las actividades que quedaron sin ejecutar: modelo original vs ajustado*

Como se esperaba, dado que no se alteró el orden de prioridad de los puntajes entre grupos, las conclusiones no son muy diferentes a las originales. Sin embargo, sí se puede notar un impacto (lógico) en función de los ajustes. El cambio predominante es el de “Limpieza Baños”. Como se redujo la importancia de este grupo (de 8 a 6 puntos) y al mismo tiempo se implementó la suba del puntaje de “Control de Acceso”, “Estacionamiento” y “Preparación de Espacios” (de 10 a 15 puntos), el grupo “Limpieza Baños” quedó des priorizada por un efecto doble. Es por ello que la necesidad de empleados de “Limpieza de Baños” sube de 2.5 a 2.9. El modelo decidió no ejecutar una mayor cantidad de tareas de “Limpieza de Baños”. Evidentemente esas horas decidió dedicarlas a “Preparación de Espacios” dado que la necesidad de contratación se redujo de 1.2 a 0.9. Para los casos de “Control de Acceso” y “Estacionamiento” no se observan cambios dado que el modelo ya priorizaba la ejecución del 100% de las horas previo al ajuste realizado. Con un incremento de la relevancia de estos grupos, es esperable que el modelo siga ejecutando todas dichas tareas.

Otro punto que se propuso llevar a cabo es entender el impacto en el nivel de compleción de las tareas si se desease lograr una mayor equidad en la cantidad de horas mensuales que cada empleado debe trabajar. En el modelo principal ejecutado, observamos que hay empleados cuya utilización está al 100% mientras existen otros con utilización del 73%, lo que equivale a trabajar 41 horas menos al mes respecto a los que no tienen capacidad ociosa. Esto podría generar malestar entre los empleados y entorpecer el clima laboral. Por esta razón, se evaluó restringir al modelo a que como mínimo cada empleado tenga que trabajar 140 horas al mes, lo que implica tener una utilización mínima del 91%.

$$\sum_{i \in N} \sum_{d \in D} T_{ijd} * L_i \geq 140 \quad \forall j \in J$$

Los resultados se muestran a continuación.

| ID Empleado | MODELO ORIGINAL | | MODELO EQUIDAD HORAS | |
|--------------------|------------------|---------------|----------------------|---------------|
| | Horas Trabajadas | Utilización % | Horas Trabajadas | Utilización % |
| 0 | 126 | 82% | 140 | 91% |
| 1 | 146 | 95% | 147 | 95% |
| 2 | 147 | 95% | 147 | 95% |
| 3 | 113 | 73% | 140 | 91% |
| 4 | 147 | 95% | 147 | 95% |
| 5 | 154 | 100% | 152 | 99% |
| 6 | 150 | 97% | 140 | 91% |
| 7 | 154 | 100% | 154 | 100% |
| 8 | 147 | 95% | 140 | 91% |
| 9 | 140 | 91% | 140 | 91% |
| 10 | 126 | 82% | 140 | 91% |
| 11 | 154 | 100% | 140 | 91% |
| 12 | 140 | 91% | 140 | 91% |
| 13 | 154 | 100% | 154 | 100% |
| 14 | 147 | 95% | 140 | 91% |
| 15 | 154 | 100% | 147 | 95% |
| 16 | 140 | 91% | 147 | 95% |
| 17 | 147 | 95% | 147 | 95% |
| 18 | 133 | 86% | 140 | 91% |
| TOTAL HORAS | 2719 | | 2742 | +23 |

Tabla 20: Utilización % modelo original vs equidad horas entre empleados

| | MODELO ORIGINAL | MODELO EQUIDAD HORAS |
|--------------------------|-----------------|----------------------|
| Total Puntos en Juego | 7586 | 7586 |
| Total Puntos obtenidos | 5012 | 4935 |
| Nivel de Eficacia | 66% | 65% ⇒ ↓1pp |

Tabla 21: Nivel de eficacia modelo original vs ajustado para mayor equidad de horas de trabajo

En conclusión, los resultados obtenidos confirman lo que se esperaba. La restricción de horas mínimas mensuales obliga a todos los empleados a tener una utilización mayor al 90%, e incluso si evaluamos la totalidad de horas, con esta nueva limitación el modelo arroja que los empleados en su conjunto trabajen 23 horas más que en el modelo original. Sin embargo, cuando evaluamos el nivel de eficacia, el indicador se reduce en 1 pp (de 66% a 65%). Esto se explica por el hecho de que el algoritmo, con el fin de lograr su cometido del mínimo de horas por empleado, termina haciendo una reasignación en donde se efectúan tareas de un menor puntaje o importancia. En resumen, se logran más horas de trabajo y más equitativas entre los empleados, pero como contrapartida se realizan tareas menos importantes.

Presentación de Resultados y Definiciones

Con el análisis finalizado, se presentaron los resultados ante la Comisión Directiva para por un lado observar las reacciones en cuanto a los resultados obtenidos, y por el otro, poder realizar ajustes en el relevamiento de tareas. En general, las impresiones han sido positivas, en el sentido que los resultados se ajustan a lo que se esperaba, y ya se han tomado algunas decisiones para comenzar a trabajar en este problema. El primer punto que se puso en foco fue la limpieza, aunque no se decidió contratar un empleado sino tercerizar el servicio. Se evaluó que era menos costoso si una empresa proveía el servicio, y además le permitiría flexibilizar los francos para algunos empleados existentes. Contratando un servicio de un tercero se podría elegir qué días y horarios prestarlo. Por otra parte, una empresa experta en limpieza le ahorraría a la institución la necesidad de capacitar a un empleado, o el riesgo de contratar a un empleado cuya performance no esté al nivel de las expectativas.

El segundo punto fue comenzar a evaluar perfiles para sumar al rubro de Preparación de espacios. Se acordó que el proceso de elección deberá tener la aprobación, no solo de la Comisión Directiva, sino también del Intendente del club y sobre todo de la Presidenta de Deportes. La mayor parte de estos trabajos están ligados a la preparación de actividades deportivas, por lo que esta persona recibe órdenes directamente del equipo de Deportes.

Capítulo 5: Conclusión

En conclusión, este trabajo tiene por fin atender una de las problemáticas más recurrentes de la institución: la falta de planificación y de recursos para mantener las instalaciones y atender las demandas de los socios. El mapeo de todas las tareas, variables, restricciones, función objetivo nos ha permitido estructurar el problema para comprender mejor las dificultades que se afrontan. Este proceso ha involucrado a muchas personas de diferentes áreas del club para obtener la información y también entender sus visiones, preocupaciones, y necesidades. En el transcurso del proyecto se han hecho numerosas modificaciones para poder representar mejor la realidad y a la vez simplificar lo máximo posible los supuestos y consideraciones.

En lo personal, fue un desafío llevar adelante este proyecto de tesis, que desde un principio imaginé complejo y con un camino lleno de obstáculos. El modelo fue mutando en buena medida en las restricciones consideradas inicialmente. En algunos casos para reflejar mejor la limitación que se deseaba imponer, pero en otros casos, como ya se comentó, debido a problemas de capacidad de cómputo de Cplex. Con cada paso las soluciones a los problemas fueron surgiendo y se fueron generando nuevos focos de análisis. Desarrollé una mentalidad de perseverancia ante cada uno de los inconvenientes que iban aconteciendo. Muchos de ellos asociados al código y al desafío de agregar y corregir restricciones que permitan tener un modelo más robusto, como así también el de lidiar con problemas de saturación en la capacidad de cómputo de Cplex y tener que replantear variables, subíndices, y restricciones del modelo. Por último, me gustaría agradecer la gran ayuda y guía de mi tutor, Javier Marengo, por la buena predisposición para responder todas mis dudas y por su capacidad para resolver y simplificar las complejidades que fueron surgiendo.

Capítulo 6: Referencias Bibliográficas

- O. Al-Rawi and T. Mukherjee, (2019) Application of Linear Programming in Optimizing Labour Scheduling. *Journal of Mathematical Finance*, 9, 272-285.
doi: 10.4236/jmf.2019.93016.
- M. Thierry Garaix, P. Gondran, E. Mura Lacomme, N. Tchernev. Workforce Scheduling Linear Programming Formulation. 16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2018, Jun 2018, Bergamo, Italy. pp.264-269, ff10.1016/j.ifacol.2018.08.289ff. fhal-02024652f
- E. Muhammad Nazri, B. Abu Bakar, and R. Ramli. The Assignment of Projects to Students using 0-1 Integer Programming, Dec (2003), Faculty of Quantitative Sciences, Universiti Utara Malaysia, 06010 Sintok, Kedah, MALAYSIA
- Z. Abdalkareem, A. Amir, M. Al-Betar, et al. Healthcare scheduling in optimization context: a review. April 2021, *Health Technol.* 11, 445-469 (2021).
<https://doi.org/10.1007/s12553-021-00547-5>
- D. Conforti, F. Guerriero & R. Guido, Optimization models for radiotherapy patient scheduling. *4OR* 6, 263–278 (2008) <https://doi.org/10.1007/s10288-007-0050-8>
- S. Bradley, A. Hax, and T. Magnanti. *Applied Mathematical Programming, Mathematical Programming in Practice*, MIT, 1977