

## **PROYECTO DE PASANTÍA**

---

**Desarrollo e implementación de un sistema para la  
asignación de tareas de mantenimiento de Sky Airline.**

---

**Santiago Tomás Brito Cejas**

**Profesor guía:  
Raimundo Sánchez**

**10 de diciembre de 2023.  
Santiago, Chile**

## Resumen ejecutivo

En el ámbito aeronáutico, el área de mantenimiento es indispensable para alcanzar los objetivos operativos de la empresa, debido que esta área se encarga de tener las aeronaves en óptimas condiciones utilizando los recursos con los que se cuenta.

El proyecto fue llevado a cabo en la empresa Sky Airline, específicamente en el área de mantenimiento aeronáutico, la cual se encarga de realizar los trabajos de mantención y reparación de la aeronave, para que estas estén disponibles para volar. Los turnos de trabajo cuentan con dos indicadores de rendimiento fundamentales, el nivel de eficiencia, el cual representa la cantidad de horas hombre se trabajaron durante el turno, y el nivel de desasignación, que corresponde a la cantidad de horas hombre programadas que no fueron realizadas por distintos motivos. La problemática que busca responder el proyecto a presentar, es en referencia al último índice comentado, debido que el nivel de desasignación promedio desde enero de 2022 es del 11%, más del doble que la meta 5%.

El proyecto de pasantía que se presentará propone un sistema de asignación de tareas, el cual permita efficientar los turnos de mantenimiento buscando reducir la cantidad de veces que los técnicos deben cambiar de avión, esto con el fin de aumentar la capacidad de respuesta a tareas que no estaban programadas y se deben realizar al momento. Debido la cantidad de combinaciones que se pueden llevar a cabo, se decidió utilizar una heurística capaz de entregar una solución eficiente, en este caso se utilizó una heurística tipo greedy.

Mediante la utilización de este sistema durante el mes de noviembre, se comparó la distribución real con la distribución que habría hecho el sistema para comparar el nivel de impacto que el sistema de asignación de tareas tendría.

Los resultados obtenidos fueron la reducción del nivel de desasignación del mes de noviembre de un 15,48% a un 14,06%, evitando la pérdida de 28,75 horas hombre durante dicho mes.

Palabras claves: Sistema de asignación de tareas, heurística tipo greedy, desasignación de tareas de mantenimiento, eficiencia.

## Abstract

In the aeronautical field, the maintenance area is indispensable for achieving the operational objectives of the company, as this area is responsible for keeping the aircraft in optimal conditions using the available resources.

The project was carried out at Sky Airline, specifically in the aeronautical maintenance area, which is responsible for performing maintenance and repairs on the aircraft to ensure their availability for flight. The work shifts have two key performance indicators: the efficiency level, representing the amount of man-hours worked during the shift, and the unassignment level, corresponding to the amount of scheduled man-hours not completed for various reasons. The issue addressed by the project is related to the latter index, as the average unassignment level since January 2022 is 11%, more than double the 5% target.

The internship project being presented proposes a task allocation system aimed at optimizing maintenance shifts by reducing the number of times technicians need to switch aircraft, thereby increasing responsiveness to unplanned tasks that need immediate attention. Due to the numerous combinations possible, a greedy-type heuristic was chosen to provide an efficient solution.

By implementing this system during the month of November, the actual distribution was compared with the distribution the system would have generated to assess the impact of the task allocation system.

The obtained results revealed a decrease in the unassignment level for November, dropping from 15.48% to 14.06% and preventing the loss of 28.75 man-hours during that month.

**Keywords:** Task allocation system, greedy algorithm, maintenance task unassignment, efficiency.

# Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>5</b>
a. Contexto de la empresa.....	5
b. Contexto del Problema.....	8
c. Contexto de la oportunidad.....	11
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>12</b>
a. Objetivo general.....	12
b. Objetivos específicos.....	12
c. Medidas de desempeño.....	12
<b>3. Estado del arte.....</b>	<b>14</b>
<b>4. Solución.....</b>	<b>16</b>
a. Alternativas de solución.....	16
b. Solución escogida.....	17
c. Marco Teórico.....	17
<b>5. Metodología.....</b>	<b>18</b>
a. Metodología de solución.....	18
b. Plan de implementación.....	22
c. Matriz de riesgo.....	23
d. Evaluación económica.....	24
<b>6. Resultados.....</b>	<b>24</b>
<b>7. Conclusiones.....</b>	<b>25</b>
a. Resultados e impactos.....	26
b. Posibles ampliaciones del sistema.....	26
<b>8. Referencias.....</b>	<b>27</b>
<b>9. Anexos.....</b>	<b>28</b>
a. Anexo A.....	28
b. Anexo B.....	31
c. Anexo C.....	34
d. Anexo D.....	34
e. Anexo E.....	35

# 1. Introducción

## a. Contexto de la empresa

Sky Airline es una compañía aérea chilena fundada el año 2001 en Santiago, Chile. Dentro del mercado chileno, esta empresa se ubica en el segundo lugar como la aerolínea con mayor participación tanto en vuelos nacionales, en donde el 26% de los vuelos dentro del territorio nacional son administrados por Sky Airline, como internacionales, realizando el 14% de los vuelos con destino fuera del territorio nacional. Actualmente, la compañía además de tener más de 15 destinos a nivel nacional, posee una sólida presencia en el mercado latinoamericano, esto por ofrecer vuelos a las principales ciudades del continente, como lo son Buenos Aires, Rio de Janeiro, São Paulo, Cancún, Punta Cana, Bogotá, Montevideo, Lima, Miami, entre muchas otras. El ofrecer una gran variedad de destinos a un precio accesible y de gran calidad, le llevó a ser galardonada como la mejor aerolínea “low cost” de Sudamérica en el ranking de Skytrax, el ranking que se ha consolidado como el más importante de la industria aeronáutica.

A pesar de siempre buscar entregar un gran servicio a un bajo costo, Sky Airline no se olvida del valor de la sostenibilidad, por esto mismo creó un programa interno llamado Sky Green, el cual tiene por objetivo reducir la huella de carbono de la empresa. Gracias a este pensamiento, se realizaron diversos cambios, como lo es el trabajar con energías renovables en la base de mantenimiento y hacer uso de iluminación LED en el edificio corporativo. Sin embargo, el principal cambio que realizó Sky Airline fue la actualización de su flota, en donde desde 2021 se opera solamente con aviones *Airbus A320* y *A321 NEO*, lo que además de hacerla una flota amigable con el medio ambiente, también la hace la flota más nueva de Sudamérica.

Las principales operaciones de Sky Airline se realizan en Santiago, en nuestra capital la aerolínea posee su centro de mantenimiento aeronáutico (CMA), ubicado en la comuna de Pudahuel y sus oficinas administrativas hacen lo propio en la comuna de Huechuraba. En la “Figura 1” se distingue tanto la ubicación del CMA, marcada en verde, como de las oficinas administrativas, marcadas en morado.

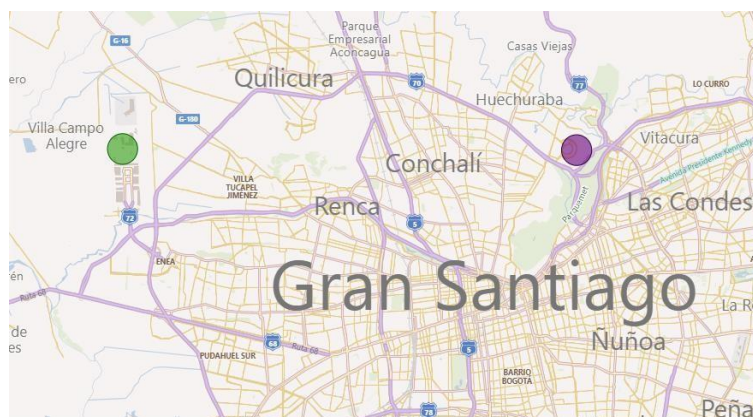


Figura 1: Representación geográfica de la ubicación del CMA y de las oficinas administrativas. (Elaboración propia)

Este proyecto se llevará a cabo específicamente en el CMA, donde se llevan a cabo las labores de mantenimiento de los 19 aviones de la empresa que operan en las rutas chilenas. En algunos casos, también se brinda asistencia a las 10 aeronaves que operan en el territorio peruano. Para cumplir con esta tarea, el CMA debe contar con un equipo de trabajo capacitado para abordar las necesidades de mantenimiento de las aeronaves. Por esta razón, el CMA se divide en diversas áreas, que incluyen "Mantenimiento y Operaciones", "Planificación", "Control de Calidad de AOC" y "CCM". Este proyecto se centrará principalmente en las áreas de mantenimiento y planificación.

Para el desarrollo de este trabajo, es necesario comprender la relación entre el área de Planificación y el área de Mantenimiento y Operaciones. La primera se encarga de determinar qué tareas se deben realizar durante el turno nocturno (desde las 22:30 a las 5:30), junto con horario y la cantidad de horas hombre (HH) que requiera cada tarea. Por otra parte, el área de Mantenimiento y Operaciones se enfoca en poder dar respuesta a los requerimientos que solicita Planificación y asignar los trabajos a realizar a ciertos técnicos. En otras palabras, Planificación es el cliente que demanda una cierta cantidad de HH, y Mantenimiento y Operaciones se encarga de administrar sus recursos para dar respuesta a su solicitud.

Para garantizar una ejecución efectiva de las tareas programadas durante el turno nocturno, el área de Planificación debe entregar cierta información relevante al área de Mantenimiento y Operaciones, esto incluye el nombre de la tarea, su descripción, la especialidad requerida del técnico (conocida como "skill"), la prioridad de la tarea evaluada en una escala de 1 a 3, donde 1 es urgente, 2 es necesario y podría generar problemas si no se realiza, y 3 tiene un margen de tiempo razonable para completarse en caso de ser desasignada. Por último, la información más importante es la cantidad de horas hombre (HH) asignadas a cada tarea. Cada técnico puede trabajar hasta 7 horas hombre, sin considerar las tareas no rutinarias (NR), las cuales no estaban en la programación inicial y que se detectan durante el trabajo en la aeronave.

Al finalizar el turno nocturno, se realiza una evaluación de este mismo para determinar el rendimiento que hubo durante la noche, la cual se enfoca principalmente en dos indicadores de rendimiento (KPI), los cuales son, el "Nivel de eficiencia" que se determina como la razón entre el total de HH trabajadas durante el turno nocturno y la cantidad de HH programadas, donde se tiene como meta que este valor sea por lo menos 0,98 cada día, junto al "Nivel de desasignación", que se calcula mediante la razón entre la cantidad de HH de tareas programadas que no se llevaron a cabo y el total de HH programadas, considerando para este índice una meta de a lo más 0,05 cada día.

Las metas buscan prevenir la sobrecarga en futuros turnos de trabajo, permitiendo a los supervisores desasignar las tareas menos prioritarias con el fin de evitar problemas graves. Sin embargo, un exceso de desasignaciones puede cambiar la prioridad de las tareas, generando saturación en turnos posteriores. La meta del 5% para desasignaciones se establece para garantizar que el equipo pueda gestionar eficazmente esa cantidad de tareas pendientes sin comprometer el rendimiento futuro. Se busca equilibrar la resolución de problemas inmediatos sin exceder un límite que afecte negativamente el desempeño a largo plazo.

## b. Contexto del Problema

Como se mencionó anteriormente, el área cuenta con dos “KPI” el que se enfoca en medir el rendimiento del turno, y el que determina el grado de desasignación que hubo durante los trabajos nocturnos. Por ser estos los índices más importantes dentro de los trabajos de mantenimiento, se decidió graficar sus comportamientos desde enero del año 2022 hasta Julio del año 2023, con el fin de comprender que tan en línea estaban los resultados con las metas del área, por esto, se crea el “Gráfico 1” para observar la eficiencia del turno y el “Gráfico 2” para observar el nivel de desasignación presente durante este periodo.



Gráfico 1: Gráfico lineal “Eficiencia Mensual” vs “Eficiencia Meta”. (Elaboración propia.)

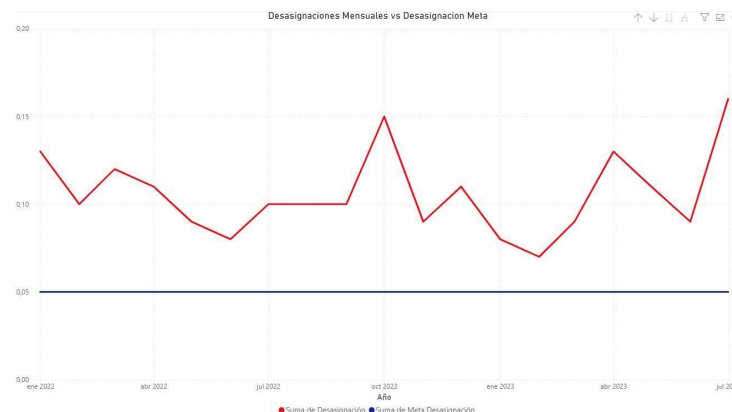


Gráfico 2: Gráfico lineal “Desasignación Meta” vs “Desasignación Mensual”. (Elaboración propia.)

Según lo observado en el “Gráfico 1”, podemos determinar que a pesar que en algunos periodos el nivel de eficiencia es menor a la meta, durante casi todo el periodo observado se cumple la meta de estar por sobre el 98% de eficiencia. Por otra parte, distinto es el caso del nivel de desasignación, dado que en ningún mes evaluado el nivel de desasignación alcanza su meta, junto a tener un nivel de desasignación promedio de 11%, más del doble de la meta fijada por el área, por esto mismo, podemos entender que existe un problema en lo medido por este indicador.

La incapacidad de cumplir con la meta de desasignaciones motivó la realización de un diagrama de Ishikawa (Figura 2), el cual se utiliza para identificar y analizar las posibles causas que están contribuyendo a las desasignaciones.

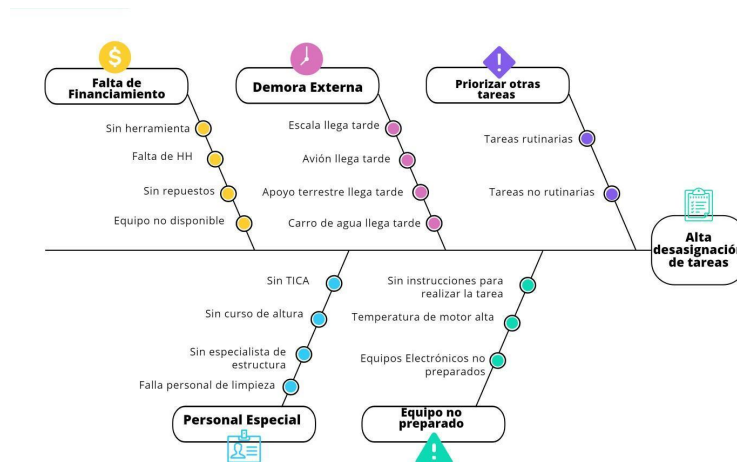


Figura 2: Diagrama de Ishikawa de la desasignación de tareas. (Elaboración propia.)

El diagrama presentado muestra 5 ramificaciones, las cuales hacen referencia a las principales causas de la desasignación de tareas. En color morado se representa la desasignación de tareas por priorizar otras, esto se puede deber por priorizar tareas planificadas o tareas rutinarias. En color rosado se presenta la desasignación de tareas debido a una demora externa, la cual se puede deber a una variada cantidad de factores, pero los casos más recurrentes son debido a un atraso en la llegada del avión a la base de mantenimiento, atraso en la llegada de la escala que, de ingreso a la nave, retraso en llegada del GPU u otros equipos de apoyo terrestre. En color amarillo se muestran la desasignación por falta de financiamiento, lo cual se refiere a no realizar la tarea programada por no tener el material adecuado, como lo son repuestos, herramientas o equipos de trabajo. En color celeste están las tareas que no se realizaron por un fallo en la asignación de tareas, en donde se le asignó a un técnico una tarea que requería una “skill” distinta a la de él. Finalmente, en color verde están las tareas que no fueron desarrolladas debido a que el avión u otros elementos necesarios no están en las condiciones óptimas para ser utilizados.



Con el objetivo de determinar la causa que ejerce una mayor influencia en la desasignación de tareas, se ha tomado la decisión de cuantificar las causas responsables de las desasignaciones ocurridas durante los meses de julio y agosto de 2023. Estas cifras se representarán en el “Gráfico 3”.

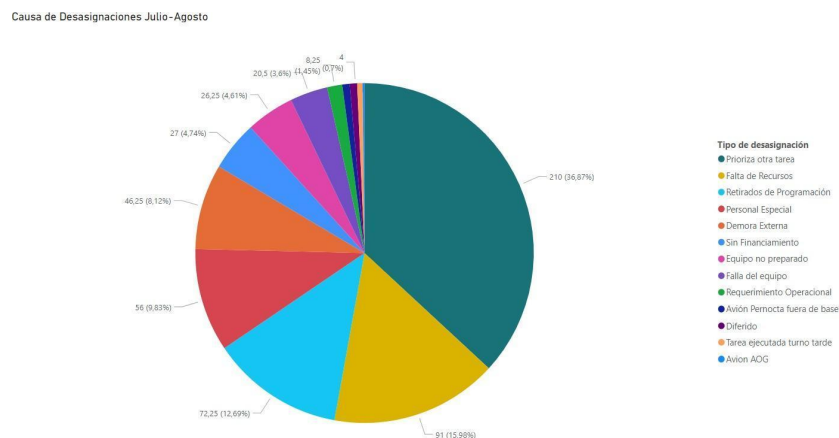


Gráfico 3: Gráfico circular de comparación de causas de desasignación. (Elaboración propia.)

El “Gráfico 3” revela información de gran relevancia, puesto que resalta la constante primaria del factor principal en la desasignación de tareas, que corresponde a la priorización de otras actividades. Dado que esta categoría engloba diversas subcategorías, como la priorización de tareas no rutinarias y tareas rutinarias, resulta imperativo analizar con mayor profundidad cuál de ellas ejerce una influencia más significativa. Por lo tanto, se analiza en detalle las causas que llevan a la desasignación de tareas debido a la priorización de otras actividades, con el objetivo de entender mejor cuál de estas causas es la más influyente se crea el “Gráfico 4”.

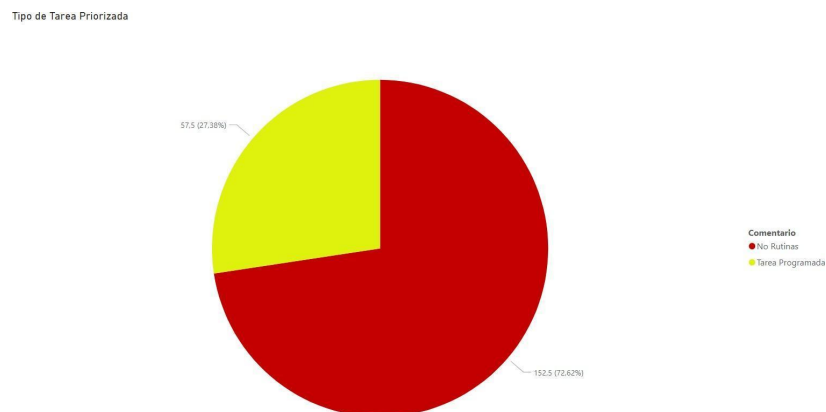


Gráfico 4: Tipo de tareas priorizadas al desasignar tareas. (Elaboración propia.)

Como se puede observar, el “Gráfico 4” presenta una representación visual de las causas subyacentes que generan la desasignación de tareas debido a la priorización de otras actividades. En este contexto, se observa claramente que el 72,62% de las desasignaciones se atribuyen a la priorización de tareas no rutinarias, mientras que el 27,38% corresponde a la priorización de tareas rutinarias.

Habiendo realizado una evaluación detallada sobre el problema y las causas presentes en nuestra área, podemos concluir que el problema presente es que existe una alta desasignación de tareas, la cual se debe principalmente por la aparición de tareas no rutinarias.

Es importante subrayar que, durante el turno nocturno, la cantidad de tareas no rutinarias a abordar carece de un orden lógico y no es predecible. Este hecho contrasta con los intentos de establecer patrones mediante diversos pronósticos, como se evidencia en los cálculos presentados en el Anexo A. Dada esta naturaleza imprevisible, resulta extremadamente desafiante desarrollar un proyecto destinado a reducir el número de tareas rutinarias durante dicho turno. Sin embargo, una alternativa viable consiste en eficientar el proceso de mantenimiento, lo que posibilitará abordar eficientemente tanto las tareas programadas como las no rutinarias.

### c. Contexto de la oportunidad

El problema central radica en que se están desasignando más tareas de mantenimiento de lo esperado, un 11% de las horas hombre (HH) planificadas, cuando la meta es mantener esta tasa por debajo del 5%, lo que afecta significativamente la eficiencia de las operaciones.

Se estima que el CMA utiliza al año unas 17,000 HH en total, lo que significa que las 1,870 HH desasignadas al año representan un coste innecesario de alrededor de 18,700,000 CLP. Además, la reducción de la frecuencia de las desasignaciones tiene un impacto directo en la disponibilidad de la flota aérea, disminuyendo el riesgo de que un avión quede en situación AOG. Cada día en que una aeronave permanece AOG se traduce en una pérdida económica valorada en 25,000 USD.

Este proyecto busca eficientar las operaciones de Sky Airline, mejorando su rentabilidad al reducir las pérdidas por no realizar un alto número de tareas, logrando así reducir costos innecesarios.

## 2. Objetivos

El objetivo que tiene este proyecto es “eficientar el proceso de asignación de tareas de mantenimiento”.

### a. Objetivo general

Desarrollar un sistema de asignación para las tareas de mantenimiento, enfocado en reducir la desasignación promedio de un 11% a un 7%, buscando cumplir con las metas del área.

### b. Objetivos específicos

- 1) Mantener el nivel de eficiencia por sobre el 98%
- 2) Reducir el nivel de desasignación a un 7% promedio.
- 3) Reducir la cantidad de cambios de avión que los técnicos deben realizar.

### c. Medidas de desempeño

Durante el desarrollo de este trabajo se utilizarán tres medidas de desempeño claves para evaluar el rendimiento del proyecto.

En primer lugar, se medirá el desempeño en base a la cantidad de HH no trabajadas al mes y se comparará con el total de horas hombre planificadas para ese mismo periodo de tiempo.

$$\frac{\text{Horas Hombre desasignadas} * 100}{\text{Horas Hombre Planificadas}}$$

En segundo lugar, se medirá la eficiencia de los turnos de trabajo comparando el total de horas hombre trabajadas y el total de horas hombre planificadas.

$$\frac{(\text{HH Planificadas Trabajadas} + \text{HH No Rutinas Trabajadas}) * 100}{\text{Horas Hombre Planificadas}}$$

En tercer lugar, se medirá la cantidad de cambios de avión que deberán realizar los técnicos, lo cual se traducirá en HH mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\sum_{n=i}^N Ri - \sum_{n=i}^N Ni}{4}$$

Ri=Cantidad de cambios de avión asignados al técnico i mediante el método actual

Ni=Cantidad de cambio de avión asignado al técnico i utilizando el sistema

; N=Técnicos en el turno.

### 3. Estado del arte

Para resolver el problema, es esencial analizar cómo se han gestionado problemas similares en la literatura.

El primer estudio a considerar aborda el desafío de Bosques Arauco en asignar eficazmente tareas de vigilancia forestal. Frente a la expansión del sector, que ha extendido su área de operaciones, se gestionan más de 250,000 hectáreas repartidas en ocho zonas. Con un promedio de 30,000 hectáreas y seis guardabosques por zona, la empresa concentra esfuerzos en Lebu para implementar una solución de proyecto dirigida. Este enfoque estratégico permite una gestión eficiente del personal de vigilancia ante la creciente demanda y distribución geográfica de sus operaciones. (Pradenas, Azocar, 2005)

Se realiza una comparación del caso actual con el famoso problema de los  $M$  vendedores viajeros, los cuales se asemejan en ciertos puntos claves. En primer lugar, ya sea los vendedores, como los guardabosques deben iniciar y regresar desde un mismo punto, además de que se deben visitar por lo menos una vez cada nodo (Figura 3). En cada punto visitado, el guardabosque debe realizar una serie de tareas, además de que, entre cada nodo, existe un periodo de tiempo de tránsito con duración (Pradenas, Azocar, 2005). Debido a lo anteriormente mencionado, se busca desarrollar una secuencia de tareas óptima, las que se deben realizar por lo menos una vez, por esto mismo, se desarrolla una heurística que permita cumplir con las restricciones y necesidades que presenta la empresa. Se consideraron diversas heurísticas, como lo son la heurística greedy (Resende, Ribeiro, 2003) y el algoritmo de Clark y Wright (G.Clark, J.W.Wright, 1964), en donde finalmente, se decidió implementar la primera opción. Para el desarrollo de esta heurística se realizaron los siguientes pasos:

Se inicia la ruta en un punto aleatorio desde el "depósito". Luego, se selecciona el nodo más cercano, verificando que se ajuste a las limitaciones de tiempo y distancia. Si es factible, se añade al recorrido; de lo contrario, se busca una nueva opción. Este proceso se repite hasta cubrir todos los nodos o agotar el tiempo disponible. El estudio concluye que el uso de la heurística greedy mejora los costos, distancias y tiempos en comparación con los métodos basados en la experiencia de los guardabosques, estableciéndose como la opción más eficiente.

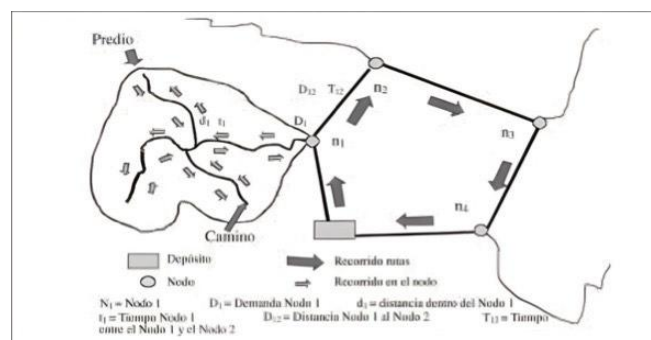


Figura 3: Representación gráfica de traslados que deben realizar los guardabosques. (Pradenas, Azocar, 2005)

Por otra parte, se investigó el estudio titulado “Heurística de asignación en tiempo real de vehículos a tareas de acarreo intermodal” (A.Escudero, J. Muñuzuri, J.Guadix, C.Arango, 2011). Este presenta un problema que está ocurriendo en España, país que se ve afectado por la gran congestión que presentan sus carreteras, lo que genera ineficiencia en el transporte de cargas.

Debido a este problema, el estudio propone el transporte intermodal como posible solución. Este método combina varios modos de transporte para optimizar la cadena de suministros, enfrentando el desafío de asignar adecuadamente vehículos a productos para reducir costos.

Debido a la necesidad de realizar asignaciones de tareas diarias, junto a también considerar un contexto versátil, se consideró la utilización de una heurística creada en base a la propuesta por Caris y Janssens (2009), el cual se basa en una heurística capaz de crear re-optimizaciones a lo largo del periodo de tiempo.

La fase inicial del algoritmo (Figura 4) optimiza la logística emparejando tareas de entrega y recogida para minimizar viajes de retorno tras cada entrega. Tradicionalmente, un vehículo iría de un punto inicial a un punto de entrega (A1), volvería al inicio, y luego viajaría a un punto de recogida (A2), regresando de nuevo al inicio. La nueva estrategia permite que, tras entregar en A1, el vehículo se dirija a A2 para recoger mercancía y retorne al inicio, eliminando el regreso vacío post-entrega y aumentando la eficiencia y reduciendo costos de transporte.

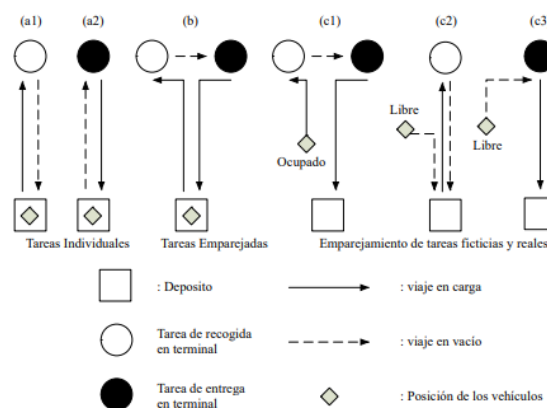


Figura 4: Representación gráfica de los traslados de los vehículos utilizando o no el sistema planteado. (A.Escudero, J. Muñuzuri, J.Guadix, C.Arango, 2011)

La segunda fase construye rutas eficientes para vehículos. Partiendo de los emparejamientos previos y tareas pendientes, ordena por el último inicio posible. Asigna tareas a vehículos desde el menor coste, evitando retornos innecesarios y organizando múltiples entregas secuenciales. Esto maximiza el uso de recursos más económicos. Una fase de mejora posterior busca optimizar aún más las rutas mediante búsqueda local, ajustando la organización de las tareas para reducir costos y aumentar la eficiencia en la logística de distribución. (A.Escudero, J. Muñuzuri, J.Guadix, C.Arango, 2011)

El factor diferencial de este estudio es su adaptabilidad ante cambios imprevistos, como problemas climáticos o mecánicos, mediante la búsqueda constante de soluciones eficientes, mediante los siguientes pasos:

La heurística ajusta las asignaciones en tiempo real ante imprevistos. Inicialmente en espera, activa la reasignación de rutas si surgen problemas. Utiliza GPS para localizar vehículos y revisa el estado de tareas y vehículos para entender el contexto operativo. Actualiza los datos, y tras hallar una solución viable, retorna al estado de espera para futuras incidencias.

Para concluir, se comparan los resultados obtenidos con los resultados que se esperaba obtener sin considerar la heurística presentada, generando un ahorro en el costo de transporte, junto a también disminuir la cantidad de atrasos de entrega de los productos.

## 4. Solución

### a. Alternativas de solución

Basándome en el caso de Bosques Arauco, se sugiere un sistema de asignación de tareas de mantenimiento para Sky Airline que emplea la heurística Greedy, priorizando la continuidad del trabajo en el mismo avión para aumentar la eficiencia operativa. La lógica propuesta favorece que los técnicos permanezcan en un avión si las circunstancias lo permiten, suponiendo que esto es lo más eficiente en el momento.

El sistema propuesto asume que el tiempo invertido en trasladarse entre aviones podría emplearse mejor en tareas de mantenimiento. Al reducir los traslados, se busca aumentar el tiempo de trabajo efectivo, permitiendo que los técnicos se enfoquen más en las tareas asignadas y reaccionen con mayor rapidez a imprevistos que surjan en el turno.

La solución a considerar en segundo lugar, propone un enfoque adaptable para la asignación de tareas de mantenimiento que aprovecha una heurística orientada a la respuesta rápida y eficiente frente a las fluctuaciones operativas en Sky Airline. Mediante la evaluación constante de la disponibilidad de aviones y técnicos, el sistema priorizaría tareas en tiempo real, utilizando un método de decisión basado en criterios de proximidad y urgencia, similar a la heurística del Vecino Más Cercano, para eficientar la asignación de recursos sin la necesidad de una planificación fija.

La adopción de este sistema dinámico tiene como objetivo permitir que los equipos de trabajo se adapten a los distintos inconvenientes que pueden surgir durante el turno nocturno. Al ajustar las asignaciones iniciales ante eventualidades operativas, como cambios en los horarios de mantenimiento o aparición de tareas no rutinarias, el sistema garantizará un uso eficiente de las horas hombre, generando así una mejor respuesta a las necesidades operativas de las naves.

## b. Solución escogida

La alternativa de solución elegida es la opción 1. La cual, mediante un programa en Python, se modelará un sistema capaz de asignar las tareas de mantenimiento el cual considere las restricciones temporales y de “skills” que se deban considerar. Esta solución nos permitirá mejorar la asignación de tareas de mantenimiento, evitando así periodos no productivos motivados por la necesidad de tener que transportarse de un avión a otro. Al hacer más eficiente la asignación de trabajos, los técnicos tendrán una mayor capacidad al momento de tener que trabajar con tareas no rutinarias, dado que se tendrá más tiempo eficiente de trabajo.

Por otra parte, el principal factor por el cual se rechazó la opción 2 es debido que para que esta pueda ser llevado a cabo requiere ciertas necesidades, como lo sería la necesidad de que el supervisor tuviera la información en tiempo real de los técnicos en todo momento, lo cual es sumamente complicado por los sectores donde se realizan los trabajos y la cantidad de antenas presentes. El no tener a los técnicos comunicados en todo momento, limitaría esta alternativa de solución, lo cual podría perjudicar los trabajos de mantenimiento.

## c. Marco Teórico

El desafío identificado se centra en el nivel de desasignación de las tareas de mantenimiento en Sky Airline, la cual se evalúa mediante la proporción de las horas hombre de las tareas programadas no realizadas y el total de horas hombre que se pueden producir durante el turno nocturno.

Para implementar una solución efectiva, es necesario contar con datos precisos y relevantes. Los datos requeridos incluyen, la identificación de las tareas de mantenimiento, los horarios en los que se deben realizar cada tarea, el número de técnicos necesarios y las habilidades específicas (Skills) requeridas para cada tarea. Estos datos son fundamentales para que el sistema propuesto pueda asignar de manera eficiente las tareas a los técnicos, teniendo en cuenta su disponibilidad y competencias.

Estos datos serán trabajados en un sistema en Python, el cual será capaz de implementar las restricciones, como los horarios de los turnos, de las tareas, las skills necesarias, con el fin de asignar estas de forma eficiente, al buscar evitar que los técnicos deban trabajar en distintos aviones.

## 5. Metodología

### a. Metodología de solución

Habiendo definido la solución que se implementará para abordar la problemática identificada en la empresa, resulta imperativo comprender la metodología de dicha solución. Es decir, se requiere una explicación detallada del proceso de desarrollo del sistema destinado a gestionar las tareas de mantenimiento. Este proceso abarca fases preliminares esenciales para garantizar la funcionalidad tanto del código como de la base de datos. El código Python debe ser capaz de interpretar de manera efectiva los datos, considerar las restricciones pertinentes y, lo más crucial, asignar las tareas de mantenimiento de manera eficiente. En última instancia, el sistema debe proporcionar la distribución final de las tareas asignadas, detallar aquellas que no fueron asignadas y ofrecer información sobre la cantidad de cambios de avión realizados durante el turno nocturno. Dada la información previamente expuesta, se ha tomado la decisión de confeccionar un diagrama del proceso (Figura 5) con el propósito de otorgar una representación visual al sistema de asignación creado (Anexo B).

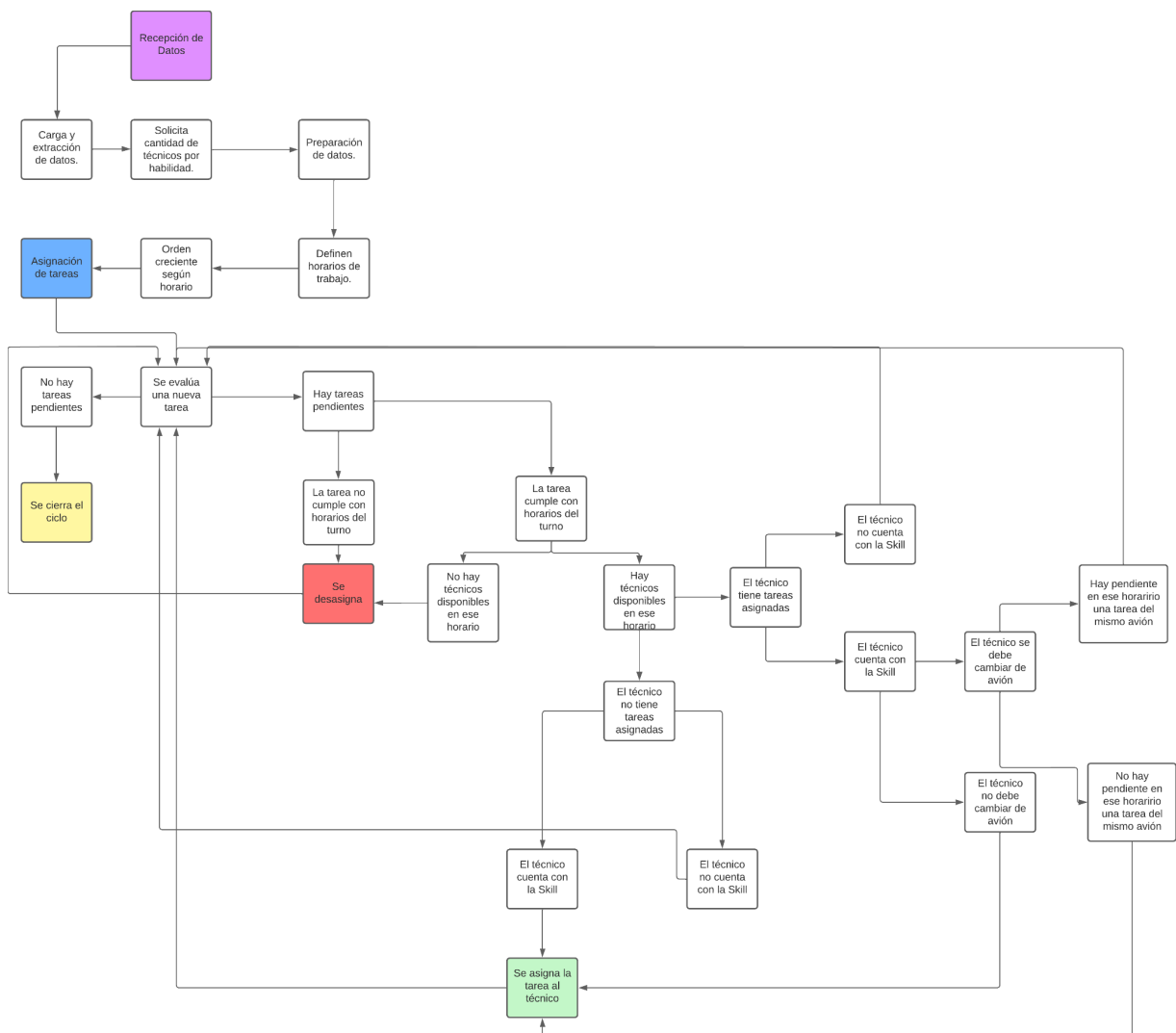


Figura 5: Representación gráfica del sistema de asignación de tareas. (Elaboración propia.)



[illegible]

Después de recibir el programa de mantenimiento, se extrae la información clave de la programación y se genera una nueva base de datos, como se detalla en el Anexo C. En dicha base, se realiza un ajuste temporal sumando 1 hora y 30 minutos a las horas de inicio y término de cada tarea. Este ajuste tiene como objetivo simplificar la interpretación del sistema, permitiendo un reconocimiento efectivo de la secuencia temporal de las tareas, donde aquellas programadas a las 22:30 preceden a las programadas a las 2:00.

17

Adicionalmente, se definen los horarios durante los cuales se pueden asignar tareas, desde las 00:00 hasta las 07:00, considerando la adición de 1 hora y 30 minutos a los horarios de cada tarea.

La fase previa a la distribución concluye con la creación de contadores de cambios de avión, que registran la cantidad total de cambios de avión en la distribución, y la generación de un diccionario llamado “ultimo\_avion\_asignado” que servirá como rastreador para determinar el último avión con el que cada técnico trabajó. Este conjunto de preparativos sienta las bases para la siguiente etapa del proceso, la asignación de tareas de mantenimiento a los técnicos de manera eficiente y organizada.

Esta fase del código inicia con la creación de un diccionario llamado “tareas\_por\_avion”, destinado a realizar un seguimiento de las tareas que aún no han sido asignadas a algún técnico. Este diccionario se utilizará posteriormente para identificar las tareas pendientes para cada avión.

Luego, se hace uso de un bucle que se encargará de recorrer cada tarea comprendida en la base de datos, lo cual permitirá analizar cada tarea de manera individual. Dentro del procedimiento, la primera acción llevada a cabo consiste en la verificación de la restricción temporal, la cual determinará si la tarea no inicia antes del horario de inicio del turno, dado que, en caso de ser así, la tarea se mantendrá en el listado de tareas pendientes.

Dentro del bucle, se realiza una iteración sobre la lista de los técnicos creada. Para cada técnico se evalúa si tiene tareas asignadas. En caso de no tener asignaciones previas, se procede a asignar la tarea actual al técnico si las habilidades requeridas por la tarea coinciden con las habilidades del técnico. Además, se actualiza el registro del último avión trabajado por dicho técnico. Por otra parte, en el escenario en que el técnico ya cuente con tareas asignadas, se verifica si la última tarea asignada permite trabajar esta nueva tarea, considerando las restricciones horarias y, sobre todo, que coincida el avión en el que se realizó la última tarea y la tarea actual. En caso que se cumplan las restricciones temporales y coincidan los horarios los aviones de ambas tareas, esta tarea se le es asignada al técnico, en caso contrario se mantiene en el listado de tareas pendientes.

En caso de no haber asignado todas las tareas a un técnico, se procede a una segunda etapa, en donde se intentan asignar las tareas a técnicos que aún no han trabajado en el avión al que corresponde la tarea. En este bucle se utilizan restricciones similares a las anteriores, por lo que, se consideran las restricciones horarias y de skill, pero no se considera la restricción del último avión trabajado para la primera tarea a asignar a cada técnico en este nuevo bucle.

El bucle presentado se itera hasta haber asignado todas las tareas de mantenimiento a un técnico o hasta tener en el listado de tareas pendientes solamente tareas que no se pueden asignar al no cumplir con ciertas restricciones.

La sección final del código, se encarga de realizar la impresión de toda información relevante que se puede desprender de la distribución que se realizó. En primer lugar, se entrega el técnico al que se le asignó cada tarea, junto a la cantidad de tareas asignadas, esto acompañado del nombre de esta misma y su horario. Junto a la información comentada anteriormente, se entrega la cantidad de veces que el técnico tuvo que cambiar de avión. Finalmente, el código entrega la cantidad de veces totales que los técnicos tuvieron que cambiar de avión durante el turno, junto a en caso de haber, las tareas que no pudieron ser asignadas.

## b. Plan de implementación

Para implementar un sistema de asignación de tareas eficiente en una empresa como Sky Airline son necesarias varias etapas claves, que van desde la recolección de información, hasta la puesta en marcha de este algoritmo. Este plan se resume en las fases presentadas en la “Figura 6”.

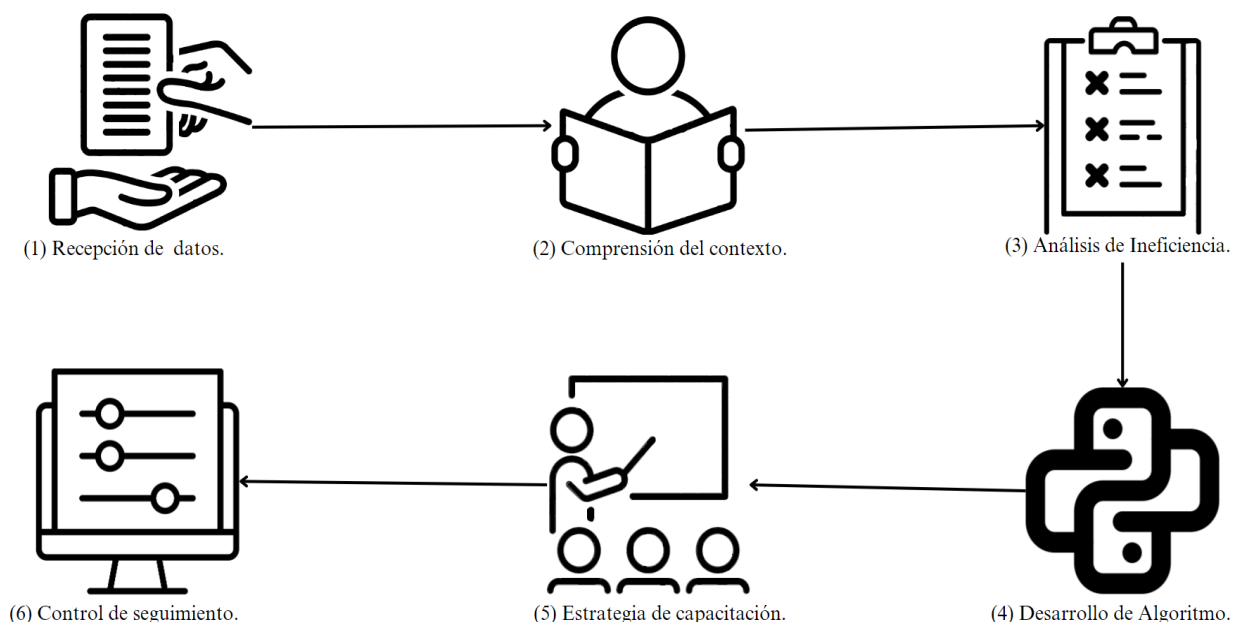


Figura 6: Representación gráfica del plan de implementación del proyecto. (Elaboración propia)

El inicio del proyecto se define por la solicitud de datos al área de planificación, la cual proporciona la programación de tareas nocturnas, un conjunto de datos críticos para el funcionamiento del turno nocturno. Estos datos incluyen las habilidades requeridas para cada tarea, los nombres específicos de las tareas, los horarios asignados para su ejecución y la disponibilidad de técnicos por cada habilidad.

Con la información precisa en mano, la etapa siguiente implica un análisis exhaustivo del contexto operativo. Se evalúan las necesidades del turno nocturno, las capacidades requeridas y se documentan las restricciones del proceso de asignación de tareas.

El análisis se profundiza en la tercera fase, donde se identifican inefficiencias como los motivos de las desasignaciones, y se examina cómo estos afectan la operatividad nocturna. Este diagnóstico permite establecer una línea base y objetivos claros para mejorar la asignación de tareas y efficientar el uso de los recursos humanos disponibles.

El desarrollo del algoritmo de asignación se lleva a cabo en la cuarta fase, utilizando Python como herramienta de codificación. El algoritmo está diseñado para adaptarse a las necesidades específicas del turno nocturno, incorporando las habilidades técnicas, los horarios de las tareas y la disponibilidad de los técnicos. Pruebas rigurosas aseguran que el algoritmo funcione de manera eficaz dentro de las restricciones operativas y cumpla con los KPI.

Una vez desarrollado el algoritmo, se pone en marcha una estrategia de capacitación para que los supervisores y técnicos se familiaricen con el nuevo sistema. Se buscará planificar reuniones con los supervisores de turno y los técnicos para presentar el nuevo sistema de asignación de tareas. En estas sesiones, se explicarán detalladamente las funcionalidades y beneficios del algoritmo, asegurando que los participantes no sólo comprendan cómo utilizar el sistema, sino que también se sientan parte integral de esta evolución operativa, esto con el fin de garantizar una transición suave hacia la nueva metodología de asignación de tareas.

La fase final se centra en el monitoreo del sistema recién implementado. Se establece un período de prueba para evaluar la funcionalidad del algoritmo en un ambiente de producción real y se recolecta activamente la retroalimentación de los usuarios. Este seguimiento continuo y la recopilación de comentarios son cruciales para ajustar y refinar el sistema, garantizando así la mejora continua y la alineación con los objetivos de rendimiento del turno nocturno.

### c. Matriz de riesgo

Antes de llevar a cabo el desarrollo del proyecto, es necesario conocer los distintos problemas que pueden surgir al momento de trabajar con este sistema. Para poder ordenar de mejor manera los riesgos, su impacto y plan de mitigación, se construyó la matriz de riesgo expuesta en la “Figura 7”:

Probabilidad	Impacto	Riesgo	Descripción	Plan de Mitigación	Responsabilidad
Alta	Alto	Fallas en horarios asignados.	Incumplimiento del cronograma de mantenimiento.	Redistribución de tareas en caso de desviaciones.	Supervisor del turno.
Alta	Medio	Atraso en llegada de los aviones.	Retrasos que afectan la programación del mantenimiento.	Planificación de tareas de mantenimiento flexibles.	Gerencia de Planificación.
Alta	Bajo	Falla de la cadena de suministros.	Interrupciones en los procesos de mantenimiento.	Activación de proveedores alternativos.	Operaciones /Compras
Media	Alto	Falla en el sistema de asignación.	Errores en la asignación de tareas de mantenimiento.	Implementar un sistema dinámico, enfocado en la asignación de tareas de mantenimiento.	Ingeniero de Mantenimiento
Media	Medio	Gestión del cambio.	Resistencia al cambio en la implementación del nuevo sistema.	Estrategias de gestión del cambio y comunicación interna.	Gerencia de mantenimiento.
Media	Bajo	Problema entre el personal.	Conflictos que pueden retrasar las tareas de mantenimiento.	Intervención de mediadores y resolución de conflictos.	Supervisor del turno.
Baja	Alto	Manipulación no autorizada del código.	Cambios no autorizados en el sistema de asignación.	Control de acceso riguroso mediante contraseña.	Ingeniero de mantenimiento.
Baja	Medio	Fallas de Energía.	Interrupciones de energía que afectan las operaciones de mantenimiento.	Generadores de emergencia y protocolos de respuesta.	Jefe de Instalaciones
Baja	Bajo	Condiciones climáticas extremas.	Condiciones climáticas que pueden retrasar las operaciones de vuelo y mantenimiento.	Activación de protocolos de seguridad y reprogramación de trabajos.	Gerente de Seguridad

Figura 7: Matriz de riesgo. (Elaboración propia)

#### d. Evaluación económica

Para determinar la conveniencia de la implementación de este proyecto, es necesario realizar un estudio financiero, donde se considerarán los principales ahorros generados por el sistema propuesto y los costos que puede generar este mismo, los cuales se presentan en la “Figura 8”, además de indicadores económicos como el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto, presente en la “Figura 9”.

Motivo	Enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total
Evitar estado AOG	\$5.716.894	\$5.716.894	\$5.716.894	\$5.716.894	\$5.716.894	\$5.716.894	\$5.716.894	\$5.716.894	\$5.716.894	\$5.716.894	\$5.716.894	\$5.716.894	\$68.602.728
Ahorro por HH	\$1.558.333	\$1.558.333	\$1.558.333	\$1.558.333	\$1.558.333	\$1.558.333	\$1.558.333	\$1.558.333	\$1.558.333	\$1.558.333	\$1.558.333	\$1.558.333	\$18.699.996
Ingenieros	-\$2.200.000	-\$2.200.000	-\$2.200.000	-\$2.200.000	-\$2.200.000	-\$2.200.000	-\$2.200.000	-\$2.200.000	-\$2.200.000	-\$2.200.000	-\$2.200.000	-\$2.200.000	-\$26.400.000
Desarrollo de Aplicación	-\$8.000.000												-\$8.000.000
Costo por charlas	-\$490.000	-\$490.000	-\$490.000										-\$1.470.000
												Ahorro Esperado	\$51.432.724

Figura 8: Ahorros y gastos esperados del proyecto. (Elaboración propia)

Índice	Valor
Tasa	0,08
VAN	\$47.622.894
TIR	131,92%

Figura 9: VAN y TIR del proyecto. (Elaboración propia)

Las tablas presentadas muestran los ahorros que espera generar este proyecto y los gastos de este mismo. En primer lugar, se estima que este proyecto permitiría evitar 6 horas al mes de aviones en estado AOG, lo que representaría un ahorro de \$5.716.894 CLP, además del ahorro por las HH no productivas. Finalmente, entre los gastos a considerar serían 2 ingenieros, necesarios para los turnos rotativos, el costo de evolucionar el proyecto a una aplicación para no tener la necesidad de utilizar Python y finalmente el costo por las charlas de capacitación del personal.

Considerando tanto los ahorros, los costos esperados del proyecto, el valor de la “VAN” y la “TIR” del proyecto, se puede concluir que es un proyecto que económicamente hablando es conveniente, dado que no requiere una gran inversión y su ahorro esperado puede ser muy alto.

## 6. Resultados

A pesar que el proyecto aún no se ha implementado de manera oficial, el sistema en sí es funcional. Durante noviembre se realizó una prueba de asignación de tareas, las cuales se compararon con la asignación oficial y las tareas desasignadas en cada turno. Los resultados obtenidos se presentan en las Figura 10 y 11:

	1 nov	2 nov	3 nov	4 nov	5 nov	6 nov	7 nov	8 nov	9 nov	10 nov	11 nov	12 nov	13 nov	14 nov	15 nov
Con el sistema	15	24	30	30	40	34	32	24	23	23	18	28	30	36	26
Sin el sistema	24	26	39	38	40	38	34	27	28	23	25	29	32	37	27
Ahorro de Tiempo (HH)	2,25	0,5	2,25	2	0	1	0,5	0,75	1,25	0	1,75	0,25	0,5	0,25	0,25
HH desasignadas por NR	4	1	5,5	1	0	5,5	0	0	9,5	4,5	3	8,5	5	7,5	2
HH desasignadas Esperadas	1,75	0,5	3,25	0	0	4,5	0	0	8,25	4,5	1,25	8,25	4,5	7,25	1,75

Figura 10: Resultados de la primera prueba de asignación con el sistema (1-15 nov). (Elaboración propia)

	15 nov	16 nov	17 nov	18 nov	19 nov	20 nov	21 nov	22 nov	23 nov	24 nov	25 nov	26 nov	27 nov	28 nov	29 nov	30 nov
Con el sistema	26	20	25	26	27	21	26	23	18	32	28	23	24	11	19	23
Sin el sistema	27	25	32	28	32	21	33	28	30	38	37	25	24	35	35	25
Ahorro de Tiempo (HH)	0,25	1,25	1,75	0,5	1,25	0	1,75	1,25	3	1,5	2,25	0,5	0	6	4	0,5
HH desasignadas por NR	2	0	2,5	19	0	0,5	4	2,5	0	3,5	11	5,5	8,5	3,5	4	2,25
HH desasignadas Esperadas	1,75	0	0,75	18,5	0	0,5	2,25	1,25	0	2	8,75	5	8,5	0	0	1,75

Figura 11: Resultados de la primera prueba de asignación con el sistema (16-30 nov). (Elaboración propia)

En las tablas se observan cinco filas, donde la primera representa la cantidad de cambios de avión que habrían tenido que realizar los técnicos durante el turno si se hubiera implementado el sistema. En la fila dos se presentan los cambios de avión que tuvieron que realizar los técnicos realmente. En la tercera fila está el tiempo ahorrado por evitar cambiarse de avión, donde cada cambio de avión está considerado como un costo de 0,25 HH. En la fila cuatro se presenta el total de HH desasignadas durante el turno de trabajo debido la priorización de otras tareas. Finalmente, en la fila cinco hay una estimación de la cantidad de HH que se habrían desasignado en caso de haber utilizado el sistema de asignación propuesto.

Para determinar el impacto que habría generado nuestro proyecto, es necesario considerar cierta información relevante. Durante noviembre se Programaron 2026,75 HH, de estas HH se desasignaron 313,75 HH debido distintos factores, siendo 123,75 HH (6,11%), lo que nos deja una desasignación total de 15,48%, y el total de HH trabajadas fue de 2030,12, lo que nos entrega una eficiencia de 102% (Anexo E). Habiendo observado los resultados obtenidos realmente, podemos compararlos con los resultados esperados que se habrían obtenido al utilizar el sistema de asignación presentado. En primer lugar, la cantidad de cambios de avión que habrían tenido que realizar los técnicos se reduciría, de 915 cambios de avión a 759 cambios de avión, lo que representaría una disminución del 17%. Debido a la reducción de los trayectos anteriormente mencionados, se puede hacer mejor uso de los recursos que la empresa posee, lo que permitiría reducir en 28,75 HH la cantidad de HH desasignadas, lo cual reduciría de un 15,48% a un 14,06% el nivel de desasignación, junto a también aumentar el nivel de eficiencia de 100,2% a un 101,6%.



## 7. Conclusiones

### a. Resultados e impactos

A partir de los resultados presentados, se pueden obtener diversas conclusiones. En primer lugar, se pudo crear un sistema de asignación de tareas de mantenimiento el cual nos permita eficientar el proceso de asignación de tareas. Los objetivos que se habían definido a lo largo de este proyecto, fueron muy optimistas, donde se buscaba reducir de un 11% la desasignación mensual a un 7%, en cambio el resultado que se obtuvo durante el mes de noviembre fue la reducción de un 15,48% a un 14,06%, lo cual representaría la cuarta parte del impacto esperado.

Es necesario comprender que si bien, no se logró el objetivo principal, el cual era reducir prácticamente en un 35% el nivel de desasignación total, el proyecto presenta una opción positiva para la empresa al momento de determinar el método de asignación de tareas de mantenimiento. Este sistema de asignación no solamente ofrece una mejora en la asignación de tareas como tal, sino que además, reduce el tiempo necesaria para asignar tareas, debido que la método actual de tareas (Anexo F) se demora aproximadamente 2 horas, tiempo que se puede reducir a aproximadamente 20 minutos, considerando la recepción y ajustes en la base de datos para entregársela al sistema.

### b. Posibles ampliaciones del sistema

Si bien el sistema cumple con su propósito, el cual es asignar las tareas de mantenimiento de forma eficiente, queda claro que es sumamente dependiente de los horarios que sean definidos por Planificación. Lo mencionado anteriormente, podría generar problemas, debido que se puede dar el caso en que la combinación de horarios definida no sea necesariamente cercana a una combinación eficiente u óptima, por esto mismo, una posible vía de mejora para este sistema de asignación sea el no depender de estos horarios, y considerar las horas hombre definidas para cada tarea como la principal restricción de tiempo, en vez de los horarios, y tareas que no sean compatibles de realizar al mismo tiempo sean restringidas por el propio usuario. Esta mejora evitaría depender de los horarios definidos y tener más libertad para asignar las tareas, junto a no pasar por alto la incompatibilidad de tareas que se puedan presentar.

## 8. Referencias

1. Gobierno de Chile (20 de enero de 2023). Informe Mensual de Tráfico Aéreo. <http://www.jac.gob.cl/estadisticas-ano-2022/>
2. Diario Sustentable (30 de enero de 2023). <https://www.diariosustentable.com/2023/01/sky-es-reconocida-como-la-flota-mas-nueva-de-sudamerica-por-tercer-ano-consecutivo/>
3. Diario Sostenible (20 de marzo de 2021). Sky es reconocida como la aerolínea con la flota más nueva de Sudamérica. <https://www.diariosostenible.cl/noticia/iniciativa->
4. Pradenas Rojas, L., & Azocar García, L. (2005). Optimización en la asignación de tareas en un sistema de guardería forestal. *Bosque*, 26(2), 17-24.
5. Escudero-Santana, Alejandro & Muñuzuri, Jesús & Guadix, José & Arango, Carlos. (2011). Heuristic of real-time assignment of intermodal drayage task. *Dirección y Organización*. 45. 32-37.
6. Caris, A., & Janssens, G. K. (2009). A local search heuristic for the pre-and end-haulage of intermodal container terminals. *Computers & Operations Research*, 36 (10), 2763–2772.
7. M. Resende and C. Ribeiro. "Greedy Randomized Adaptive Search Procedures". In *Handbook of Metaheuristics*, pp. 219-249. 2003.
8. G. Clarke & J.W. Wright. "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points".
9. Escudero-Santana, Alejandro & Muñuzuri, Jesús & Guadix, José & Arango, Carlos. (2011). Heuristic of real-time assignment of intermodal drayage task. *Dirección y Organización*. 45. 32-37.
10. Clarke, G. and Wright, J.R. (1964) Scheduling of Vehicle Routing Problem from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12, 568-581.
11. RESENDE, M. y RIBEIRO, C. Greedy randomized adaptive search procedure. En *Handbook of metaheuristics*. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 2003.



## 9. Anexos

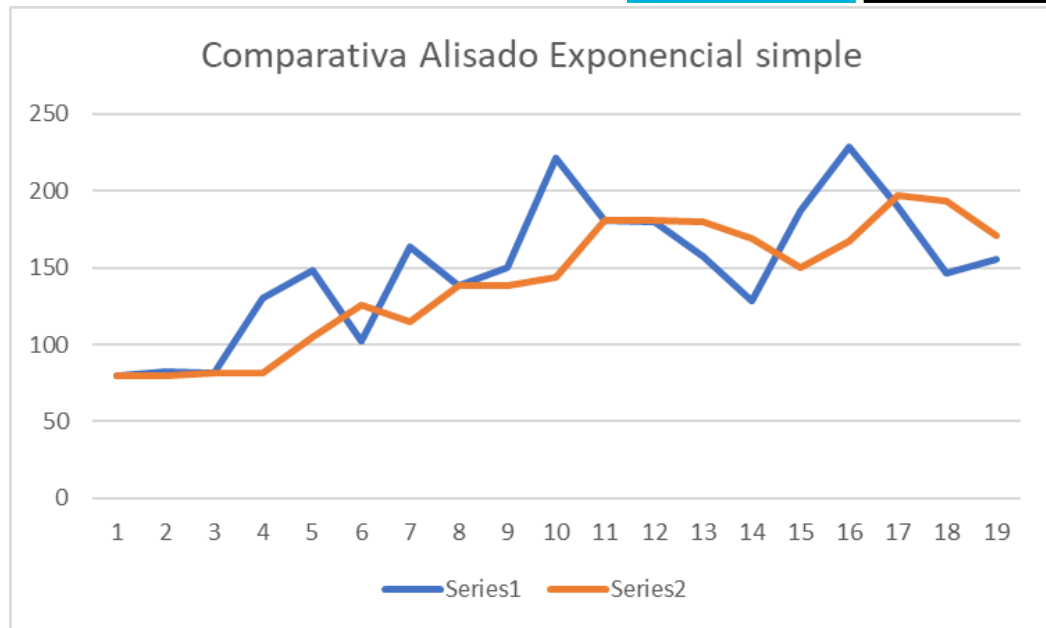
### a. Anexo A

En este apartado se presentarán los intentos de predecir los comportamientos de las tareas no rutinarias.

#### 1. Alisado Simple ( $\alpha=0,45$ ; $\beta=0$ ):

Período	HH Tareas NR	Pronóstico	Error
1	79,38	79,38	
2	82,8	79,38	3,42
3	81,64	81,02	0,62
4	130,05	81,32	48,73
5	148,46	104,69	43,77
6	102,41	125,69	23,28
7	163,82	114,52	49,30
8	138,3	138,17	0,13
9	149,81	138,23	11,58
10	221,28	143,79	77,49
11	180,96	180,96	0,00
12	179,6	180,96	1,36
13	156,9	180,31	23,41
14	128,89	169,08	40,19
15	186,75	149,80	36,95
16	228,3	167,53	60,77
17	189,73	196,68	6,95
18	146,25	193,35	47,10
19	155,28	170,75	15,47

Anexo A.1.1; Tabla de resultados alisado exponencial simple. (Elaboración propia.)



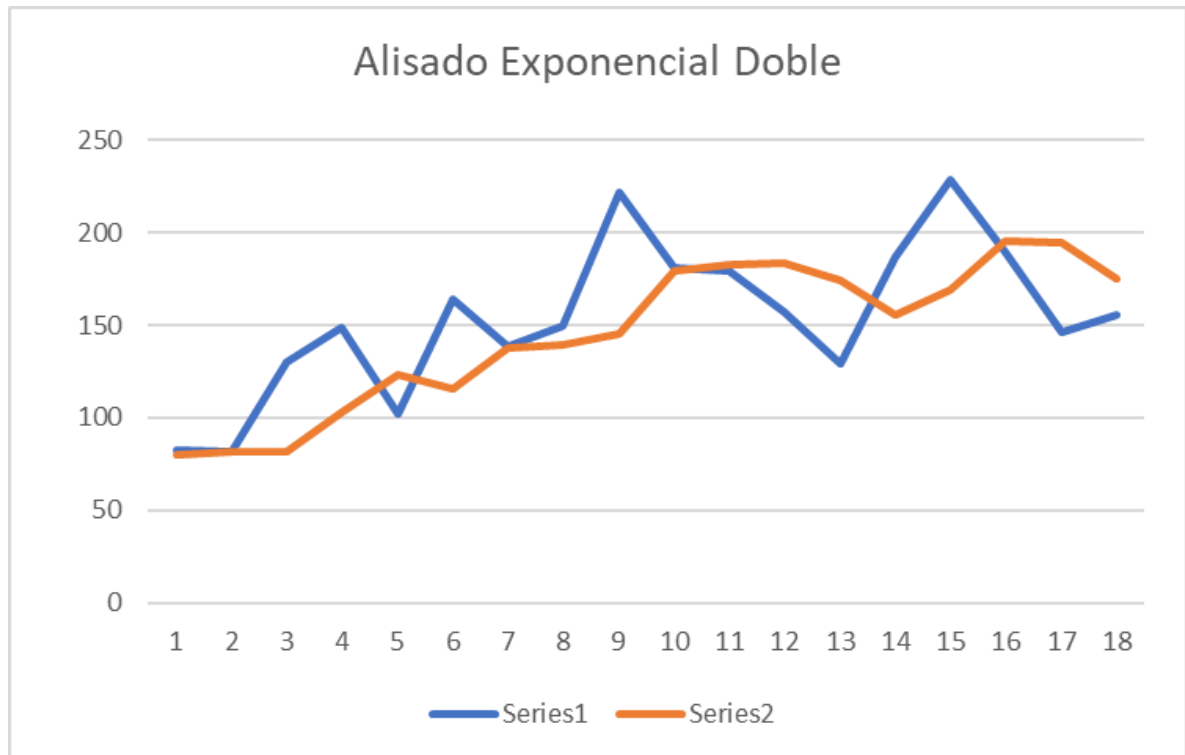
Anexo A.1.2; Gráfico de resultados alisado exponencial simple. (Elaboración propia.)

## 2. Alisado Exponencial Doble ( $\alpha=0,36$ ; $\beta=0,2$ ):

Período	nr	Ft	Tt	FITt	$e_t$	$e_t^2$
1	79,38					
2	82,8	79,38	1,00	80,38	2,42	5,86
3	81,64	80,60	1,046	81,65	0,01	0,00
4	130,05	80,97	0,908	81,88	48,17	2320,15
5	148,46	98,53	4,317	102,85	45,61	2080,15
6	102,41	116,40	7,091	123,49	21,08	444,33
7	163,82	111,39	4,614	116,01	47,81	2286,06
8	138,3	130,15	7,510	137,66	0,64	0,41
9	149,81	133,07	6,570	139,64	10,17	103,49
10	221,28	139,06	6,451	145,51	75,77	5741,23
11	180,96	168,48	11,154	179,63	1,33	1,76
12	179,6	172,94	9,785	182,73	3,13	9,79
13	156,9	175,33	8,269	183,59	26,69	712,60
14	128,89	168,73	5,226	173,96	45,07	2031,18
15	186,75	154,48	1,237	155,71	31,04	963,26

16	228,3	166,02	3,348	169,37	58,93	3472,46
17	189,73	188,31	7,225	195,53	5,80	33,67
18	146,25	188,82	5,850	194,67	48,42	2344,13
19	155,28	173,59	1,534	175,12	19,84	393,60

Anexo A.2.1; Tabla de resultados alisado exponencial doble. (Elaboración propia.)



Anexo A.1.2; Gráfico de resultados alisado exponencial doble. (Elaboración propia.)

## b. Anexo B

A continuación, se mostrará el código de python que funciona como sistema de asignación de tareas de mantenimiento.

```
import pandas as pd
from datetime import datetime, timedelta

# Paso 1: Cargar datos desde el archivo Excel "Datos"
archivo_excel = 'C:/Users/HP/Desktop/Python/Asignacion de tareas/Datos921.xlsx'
data = pd.read_excel(archivo_excel)

# Paso 2: Definir habilidades de técnicos
habilidades_unicas = data['Skill'].unique()
tecnico_habilidades = {}

for habilidad in habilidades_unicas:
    while True:
        try:
            num_tecnicos_disponibles = int(input(f'Ingrese la cantidad de técnicos disponibles para la habilidad '{habilidad}': '))
            if num_tecnicos_disponibles > 0:
                for i in range(num_tecnicos_disponibles):
                    tecnico_nombre = f'Técnico de {habilidad} {i + 1}'
                    tecnico_habilidades[tecnico_nombre] = [habilidad]
                break
            else:
                print("Debe ingresar al menos 1 técnico disponible.")
        except ValueError:
            print("Por favor, ingrese un número válido.")

# Convierte las columnas de inicio y término a objetos datetime
data['Inicio'] = pd.to_datetime(data['Inicio'], format='%H:%M:%S')
data['Termino'] = pd.to_datetime(data['Termino'], format='%H:%M:%S')

# Ordena las tareas por hora de inicio
data.sort_values(by='Inicio', inplace=True)

# Definir el horario de trabajo de los técnicos (de 00:00 a 07:00)
hora_inicio_trabajo = datetime.strptime('00:00:00', '%H:%M:%S')
hora_fin_trabajo = datetime.strptime('07:00:00', '%H:%M:%S')

# Paso 3: Asignar tareas a técnicos sin superposición y dentro del horario
tecnicos = list(tecnico_habilidades.keys())
asignaciones = {tecnico: [] for tecnico in tecnicos}
cambio_avion_contador = {tecnico: 0 for tecnico in tecnicos} # Contador de cambios de avión para cada técnico
ultimo_avion_asignado = {tecnico: None for tecnico in tecnicos} # Rastrear el último avión asignado a cada técnico

tareas_por_avion = {}

for _, tarea in data.iterrows():
    asignado = False
```

```

if tarea['Inicio'] < hora_inicio_trabajo: #Restriccion hora de inicio
    continue

for tecnico in tecnicos: #Crea el bucle para recorrer todos los técnicos
    tareas_tecnico = asignaciones[tecnico]

    if not tareas_tecnico: #Se pone en el caso que el técnico no tiene tareas asignadas
        if tarea['Skill'] in tecnico_habilidades[tecnico]: #Si su valor en la columna skill
            coincide con la del técnico
                asignaciones[tecnico].append(tarea)#Se asigna la tarea
                ultimo_avion_asignado[tecnico] = tarea['Avion']#Se actualiza el último avión en
el que se trabajó
                asignado = True
                break
    else: #El técnico tiene tareas asignadas
        ultima_tarea = tareas_tecnico[-1]#Se identifica la última tarea asignada al técnico

        if ultima_tarea['Termino'] <= tarea['Inicio'] and tarea['Avion'] ==
ultima_tarea['Avion'] and tarea['Skill'] in tecnico_habilidades[tecnico]:
            asignaciones[tecnico].append(tarea)#Se asigna la tarea si cumple con las
restricciones de tiempo, de skill y si el último avión en el que trabajó es el mismo.
            asignado = True
            break

    if not asignado: #Se consideran tareas aun no asignadas
        aviones_sin_asignaciones = set(data['Avion']) - set(tareas_por_avion.keys())#Se crea
una lista de los aviones que aún no se asignan
        for avion in list(aviones_sin_asignaciones) + list(tareas_por_avion.keys()):#Intenta
asignar tareas de aviones aun no trabajados
            for tecnico in tecnicos:
                if tarea['Skill'] in tecnico_habilidades[tecnico]:#Determina si se cumple
restriccion de habilidad
                    tareas_tecnico = asignaciones[tecnico]
                    if not tareas_tecnico or tareas_tecnico[-1]['Termino'] <=
tarea['Inicio']:#Determina si se cumple restriccion horaria
                        # Incrementar el contador si el técnico cambia de avión
                        if ultimo_avion_asignado[tecnico] != tarea['Avion']:
                            cambio_avion_contador[tecnico] += 1 #Si el avión es distinto al último
que se trabajó se le suma 1 al contador.
                            ultimo_avion_asignado[tecnico] = tarea['Avion']# Actualiza la lista del
último avión asignado
                            asignaciones[tecnico].append(tarea)#Se agrega la tarea a la lista de tareas del
técnico
                            asignado = True
                            break
            if asignado:
                break

    if not asignado: #Si despues de todo no se asignó la tarea, se agrega a la lista de tareas
pendientes
        if tarea['Avion'] not in tareas_por_avion:
            tareas_por_avion[tarea['Avion']] = []
            tareas_por_avion[tarea['Avion']].append(tarea)
# Se imprimen las asignaciones

```

```
for tecnico, tareas in asignaciones.items():
    print(f'{tecnico}: {len(tareas)} tareas asignadas, {cambio_avion_contador[tecnico]}
cambios de avión')
    if len(tareas) > 0:
        print("Tareas asignadas:")
        for tarea in tareas:
            # Restar 1 hora y 30 minutos a las horas de inicio y término
            inicio_modificado = tarea['Inicio'] - timedelta(hours=1, minutes=30)
            termino_modificado = tarea['Termino'] - timedelta(hours=1, minutes=30)

            print(f'Avión: {tarea['Avion']}, Tarea: {tarea['Tarea']}, Inicio:
{inicio_modificado.strftime('%H:%M:%S')}, Término:
{termino_modificado.strftime('%H:%M:%S')}")
        print()

total_cambios_avion = sum(cambio_avion_contador.values())
print(f"Total de cambios de avión en todas las asignaciones: {total_cambios_avion}\n")

print("Tareas pendientes:")
for avion, tareas_pendientes in tareas_por_avion.items():
    print(f'Avión: {avion}')
    if tareas_pendientes:
        for tarea_pendiente in tareas_pendientes:
            print(f'Tarea: {tarea_pendiente['Tarea']}, Inicio:
{tarea_pendiente['Inicio'].strftime('%H:%M:%S')}, Término:
{tarea_pendiente['Termino'].strftime('%H:%M:%S')}")
    else:
        print("No hay tareas pendientes para este avión")

asignaciones_lista = []

for tecnico, tareas in asignaciones.items():
    for tarea in tareas:
        asignaciones_lista.append({
            'Técnico': tecnico,
            'Avión': tarea['Avion'],
            'Tarea': tarea['Tarea'],
            'Inicio': tarea['Inicio'],
            'Término': tarea['Termino']
        })
```

### c. Anexo C

A continuación, se muestra un fragmento de una base de datos lista para ser utilizada en nuestro sistema de asignación de tareas.

Avion	Prioridad	Skill	Tarea	Inicio	Termino
CC-AZD	1	AF	Traslado Go	3:00	3:15
CC-AZD	1	AF	Traslado Back	3:30	3:45
CC-AZD	1	AF	2022-32-077	3:15	3:30
CC-AZG	1	AF	Traslado Back	3:15	3:30
CC-AZG	1	AF	Traslado Go	0:00	0:15
CC-AZG	1	AF	Traslado Back	2:45	3:00
CC-AZG	3	AF	HIL-756	0:15	2:15
CC-AZG	1	AF	256535-03-1	0:15	2:15
CC-AZG	2	AF	242800-01-2	2:15	2:45
CC-AZG	2	AF	242100-19-1	2:15	2:45
CC-AZG	1	AF	HIL-1871	2:15	3:15
CC-AZG	1	AF	DAILY CHECK I	0:15	1:15
CC-AZG	1	AF	DAILY CHECK II	1:15	2:15
CC-AZH	1	AF	HIL-2152	3:00	5:00
CC-AZH	2	AF	A320N/A321N-73/3017	0:00	1:30
CC-AZH	2	AF	A320N/A321N-73/3017	0:00	1:30
CC-AZH	1	EXT	HIL-2176	0:00	3:00
CC-AZH	1	AF	HIL-2140	1:30	2:30
CC-AZH	1	EXT	DAILY CHECK I	3:00	4:00
CC-AZH	1	EXT	DAILY CHECK II	4:00	5:00
CC-AZK	1	AF	2023-32-163	3:30	4:30
CC-AZK	2	EXT	274000-02-1	4:00	4:30
CC-AZK	2	EXT	324000-16-1	4:30	5:00
CC-AZK	1	AF	730000-L1-1	5:00	5:15
CC-AZK	1	EXT	DAILY CHECK I	3:00	4:00
CC-AZK	1	EXT	DAILY CHECK II	4:00	5:00
CC-AZM	2	AF	730000-L1-1	5:15	5:30
CC-AZM	3	EXT	HIL-2174	3:00	4:00
CC-AZM	3	EXT	HIL-1812	5:00	6:00
CC-AZM	2	AF	NDW 6507	2:00	6:00

Anexo C.1: Muestra de una base de datos lista para ser utilizada por el sistema. (Elaboración propia.)

### d. Anexo D

El sistema solicita la cantidad de técnicos disponible de cada especialidad necesaria durante el turno nocturno.

```
In [2]: runcell(0, 'C:/Users/HP/Desktop/Python/Asignacion de tareas/Codigo para
tarear ecualizadas.py')
Ingrese la cantidad de técnicos disponibles para la habilidad 'AF': 15
Ingrese la cantidad de técnicos disponibles para la habilidad 'EXT': 10
Ingrese la cantidad de técnicos disponibles para la habilidad 'AYU': 1
Ingrese la cantidad de técnicos disponibles para la habilidad 'CAB': 1
Ingrese la cantidad de técnicos disponibles para la habilidad 'ENG': 3
```

Anexo D.1: Consola solicitando la cantidad de técnicos disponibles para el turno nocturno. (Elaboración propia.)

## e. Anexo E

Resultados diarios obtenidos en el mes de noviembre.

Fecha	HH Trabajadas	NR Trabajadas	Desasignación	HH Programadas	Eficiencia	Desasignacion%
01/11/2023	51,25	6	4,5	55,75	102,7%	8,1%
02/11/2023	30,50	33,08	11,00	41,50	153,2%	26,5%
03/11/2023	65,5	15	10	75,50	106,6%	13,2%
04/11/2023	72,25	4	4	76,25	100,0%	5,2%
05/11/2023	70,25	1	6,75	77,00	92,53%	8,77%
06/11/2023	59,25	20,33	16,5	75,75	105,1%	21,8%
07/11/2023	75,75	4,17	8	83,75	95,4%	9,6%
08/11/2023	58,5	6,82	11,5	70,00	93,3%	16,4%
09/11/2023	53,25	19,82	9,5	62,75	116,4%	15,1%
10/11/2023	50,5	14,25	4,5	55,00	117,7%	8,2%
11/11/2023	51,5	9,5	11,25	62,75	97,2%	17,9%
12/11/2023	45,75	12,2	17,25	63,00	92,0%	27,4%
13/11/2023	70	7	6,5	76,50	100,7%	8,5%
14/11/2023	69,5	11,7	9	78,50	103,4%	11,5%
15/11/2023	61,5	7,2	7,25	68,75	99,9%	10,5%
16/11/2023	28,75	9,8	6	34,75	110,9%	17,3%
17/11/2023	29	3,4	12,5	41,50	78,1%	30,1%
18/11/2023	53,75	9	22,5	76,25	82,3%	29,5%
19/11/2023	70	7,3	8	78,00	99,1%	10,3%
20/11/2023	59	20	4	63,00	125,4%	6,3%
21/11/2023	77,5	6,5	4	81,50	103,1%	4,9%
22/11/2023	60,75	30,5	17,5	78,25	116,6%	22,4%
23/11/2023	47	7,5	17,75	64,75	84,2%	27,4%
24/11/2023	33,5	3	15	48,50	75,3%	30,9%
25/11/2023	51,5	6	11	62,50	92,0%	17,6%
26/11/2023	64,5	9	18,5	83,00	88,6%	22,3%
27/11/2023	78	7,5	5	83,00	103,0%	6,0%
28/11/2023	60,5	7,8	20,5	81,00	84,3%	25,3%
29/11/2023	64,5	4	1	65,50	104,6%	1,5%
30/11/2023	49,5	13,75	13	62,50	101,2%	20,8%
Total	1.713,00	317,12	313,75	2026,75	100,2%	15,5%

Anexo E.1: Muestra los rendimientos diarios del mes de noviembre. (Elaboración propia.)