



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Modelo lineal para la asignación de personal en el plan de
combate de un buque.*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Juan González Escámez

DIRECTORES: Débora Cores Carrera

CURSO ACADÉMICO: 2022-2023

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Modelo lineal para la asignación de personal en el plan de
combate de un buque.*

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General / Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

El problema de asignación de personal a puestos de trabajo de acuerdo con la experiencia y formación del personal aparece frecuentemente en muchas aplicaciones. Por ejemplo, en el plan de combate de un buque. Este plan depende del personal destinado a bordo, el cual es cambiante y puede ser insuficiente para cubrir todos los puestos de trabajo, por lo que es importante priorizar los puestos de trabajo y hacer la mejor distribución del personal de acuerdo con la experiencia y formación del personal para los diferentes puestos. El objetivo de este trabajo es formular este problema como un modelo de programación lineal entera que asigne personal a todos los puestos o al menos a los puestos con mayores prioridades. En la literatura se pueden encontrar diferentes modelos de programación lineal para la asignación de personal; sin embargo, dichos modelos dependen fuertemente de la aplicación y de las restricciones que se impongan sobre el personal y sobre los puestos de trabajo, como por ejemplo el máximo número de horas de trabajo, el número máximo de puestos a cubrir por persona, etc. Para la solución del problema de programación lineal se utilizará MATLAB.

PALABRAS CLAVE

Problema de asignación, plan de combate, programación lineal

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer este trabajo a varias personas que me han ayudado y otros que me han servido de inspiración

En primer lugar, me gustaría agradecerles a mis padres el haberme criado y apoyado a lo largo de toda mi formación académica, poniendo siempre por delante mi educación a sus propias necesidades.

En segundo lugar, a mi tutora del TFG, la señora Débora Cores Carrera. Siempre ha estado dispuesta a ayudarme en todo lo que he necesitado. Sin ella este trabajo no hubiera sido posible.

En tercer lugar, a mi primer Comandante de Brigada, el CC Carlos Segura Iglesias, ahora Comandante del Buque de Acción Marítima “BAM Meteoro (P-41)”. Gracias a él he podido recopilar toda la información de ámbito militar necesaria para este trabajo.

También me gustaría agradecerle este trabajo a Kaoru Mitoma, quien me ha demostrado que el estudio y el conocimiento siempre se puede aplicar para obtener mejores resultados en cualquier aspecto de la vida.

Para terminar, me gustaría agradecerles este trabajo a todos mis compañeros de brigada. Ellos han hecho que formarme en esta Escuela haya sido una experiencia satisfactoria, enriquecedora, única e irrepetible.

CONTENIDO

Contenido	6
Índice de Figuras	8
Índice de Tablas.....	9
1 Introducción y objetivos	10
2 Estado del arte	11
2.1 Modelación lineal.....	11
2.1.1 Origen y primeros usos	11
2.1.2 Formulación de un problema de programación lineal	11
2.1.3 Funcionamiento del método simplex.....	12
2.1.4 Ejemplo de un problema de programación lineal sencillo.....	12
2.1.5 Resolución del problema por el Método Simplex	14
2.1.6 Solución problema de Programación Lineal con variables enteras	17
2.1.7 Solución del problema de Programación Lineal con variables enteras y binarias.....	19
2.2 Plan de combate de un buque.....	20
3 Desarrollo del TFG.....	22
3.1 Problema inicial	22
3.1.1 Definición del problema inicial	22
3.1.2 Variables del problema	22
3.1.3 Restricciones del problema.....	23
3.1.4 Función objetivo	28
3.1.5 Modelos de programación lineal para resolver el plan de combate de un buque	28
3.2 Problema simple de plan de combate de un buque	31
3.2.1 Datos del ejemplo simple PLANCO.....	31
3.2.2 Solución ejemplo simple PLANCO con Modelo 3	34
3.2.3 Solución Ejemplo simple PLANCO con modelo con pesos	35
3.2.4 Solución ejemplo simple PLANCO con $n < m$	37
3.2.5 Solución ejemplo simple PLANCO para $n < m$ sin preferencias	38
4 Resultados / Validación / Prueba.....	40
4.1 Parámetros para tener en cuenta.....	40
4.1.1 Introducción	40
4.1.2 Matriz persona-cursos.....	42
4.1.3 Matriz persona-experiencia:	50
4.2 Matriz persona-curso-puesto:.....	51

4.3 Matriz persona-experiencia-puesto	54
4.4 Solución del problema:	56
4.4.1 Representación vector solución	56
4.4.2 Parámetros y restricciones vector solución.....	56
4.4.3 Solución navegación a dos vigilancias	58
5 Conclusiones y líneas futuras	62
5.1 Conclusiones	62
5.2 Líneas futuras	63
6 Bibliografía.....	64
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	66
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	67
Anexo III: Contenido del tercer anexo	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Región factible problema sencillo simplex	14
Figura 2. Solución problema sencillo simplex	16
Figura 3. Solución entera problema simplex sencillo	17
Figura 4. Solución entera binaria problema sencillo simplex	20
Figura 5. BAM Meteoro (P-41).....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Problema ejemplo método simplex.....	13
Tabla 3-1 Cursos necesarios para cada puesto	31
Tabla 3-2 Cursos realizados por cada persona	31
Tabla 3-3 Matriz persona-curso-puesto.....	32
Tabla 3-4 Matriz original persona-experiencia-puesto	32
Tabla 3-5 Matriz final persona-experiencia-puesto.....	33
Tabla 3-6 Solución ejemplo 5x 5 con el Modelo 3	34
Tabla 3-7. Comparación de modelos de programación lineal.....	36
Tabla 3-8.Comparación modelos de programación lineal (Modelo 5)	36
Tabla 3-9. Solución problema simple con Modelo 4 con preferencias y $n < m$	37
Tabla 3-10 Solución problema simple con Modelo 3 sin preferencias y $n < m$	38
Tabla 4-1. Personal BAM "Meteoro" P-41	41
Tabla 4-2. Nombres puestos navegación a dos vigilancias	52
Tabla 4-3. Requisitos puestos navegación a dos vigilancias.....	53
Tabla 4-4. Ejemplo matriz persona-puesto-experiencia.....	55
Tabla 4-5. Representación solución	56
Tabla 4-6. Solución situación navegación a dos vigilancias	58
Tabla 4-7.Solución situación navegación a dos vigilancias final.....	61

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Una buena organización del personal y la explotación de los recursos disponibles son una parte fundamental en el éxito de cualquier empresa. Esto ha sido clave en las empresas más punteras del mundo, tales como Google, Amazon o Apple. Esta ventaja comercial se produce gracias a poner a cada miembro del personal en el puesto donde este puede dar un mejor resultado, no solo para él, sino para toda la empresa. Sin embargo, esto no solo se usa en las empresas, también en deportes de equipos y otras áreas.

En nuestra empresa, la Armada, hay tres formas distintas para la asignación de destinos [1]:

1. Destinos de libre designación: Aquellos para los que se precisan condiciones profesionales y personales de idoneidad, que apreciará discrecionalmente la autoridad facultada para concederlos entre los que cumplan los requisitos exigidos para el puesto, recabando previamente la información que sea necesaria sobre las citadas condiciones. Reglamentariamente se establecerán los criterios para determinar los puestos que por sus especiales exigencias y responsabilidad deben cubrirse por este procedimiento.
2. Destinos de concurso de méritos: Aquellos que se asignan teniendo en cuenta los méritos que se posean en relación con los requisitos exigidos para el puesto
3. Destinos de provisión por antigüedad: Aquellos que se asignan por orden de escalafón, entre los interesados que cumplan los requisitos exigidos para el puesto.

Este sistema hace que no siempre se asigne los destinos al personal más indicado para ello, a pesar de que el objetivo sea el asignar al personal más adecuado para cada destino. Es por ello por lo que con este sistema no siempre se consigue el mejor resultado para la empresa, como ocurre en las mencionadas anteriormente.

Este problema se acentúa en la redacción de los planes de combate de los buques de la Armada, donde siempre es un auténtico rompecabezas el intentar cuadrar a los mejores en cada puesto con el objetivo de conseguir el mejor funcionamiento del buque en cualquier situación.

Este trabajo busca encontrar un sistema, mediante el uso de la programación lineal, para poder automatizar la asignación de puestos en un plan de combate. Para ello, tendremos en cuenta las capacidades y experiencia de todos los miembros de la dotación.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Modelación lineal

2.1.1 Origen y primeros usos

El objetivo de un modelo matemático es reproducir o representar un fenómeno, problema o situación real de la forma más fiel y cercana posible a la realidad, haciendo uso de variables, funciones, fórmulas matemáticas, a fin de entender cómo se comporta y poder obtener respuestas a determinadas acciones [2].

La programación lineal es un tipo de modelo lineal matemático que se desarrolló a partir de la Segunda Guerra Mundial para resolver cierto tipo de problemas de asignación de recursos entre distintas actividades. Después de la guerra las aplicaciones de la programación lineal se extendieron a una amplia variedad de problemas, de manera que hoy se utiliza en campos como la ingeniería, la economía, la gestión, y muchas otras áreas de la ciencia y la industria [3]. La programación lineal fue formulada por George B. Dantzig alrededor de 1947, cuando trabajaba como consejero matemático para la Fuerza Aérea de Estados Unidos en el desarrollo de un sistema automático de planificación temporal de despliegue, entrenamiento y abastecimiento logístico. Debido a que la Fuerza Aérea denomina programas a sus diversos planes y proyectos a implementar, en el primer artículo publicado por Dantzig se refiere a este problema como programación en una estructura lineal [4]. El término programación lineal fue acuñado por el economista y matemático T.C. Koopmans en 1948 cuando colaboraba con el propio Dantzig.

En 1949, Dantzig publicó el método del simplex para resolver programas lineales, método que fue ampliamente aceptado por su capacidad de producir soluciones en un tiempo razonable [5]. La programación lineal estudia la optimización (minimización o maximización) de una función lineal que satisface un conjunto de restricciones lineales de igualdad y/o desigualdad.

2.1.2 Formulación de un problema de programación lineal

Para la formulación de un problema de Programación Lineal (PL) [6], es necesario definir los siguientes parámetros:

- Las variables de decisión: Son los elementos controlables por el decisor y representan la información desconocida del problema que se quiere determinar. Estas variables toman valores que son números reales y se representan por letras con subíndices. Estas variables, generalmente, se suelen agrupar en un vector de la siguiente forma:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$$

donde n es el número de variables de decisión a determinar.

- Las restricciones: Son las limitaciones de los recursos disponibles en la realidad y las imposiciones sobre las variables de decisión. Se representan como ecuaciones o inecuaciones lineales en las variables de decisión:

$$\begin{aligned} g_i(x) &= 0 \\ g_i(x) &\leq 0 \\ g_i(x) &\geq 0 \end{aligned}$$

donde $i = 1, 2, \dots, m$ y $g_i(x)$ son funciones lineales

- Función objetivo: Es la función que representa matemáticamente el objetivo del problema planteado. En un problema de programación lineal se busca la solución óptima (mínima o máxima) de la función objetivo que satisface las restricciones previamente definidas, la distribución y el uso de los recursos (variables de decisión) disponibles. Esta función objetivo es una función lineal que tiene la siguiente forma:

$$\text{Minimizar } f(x) = c^T x \text{ o Maximizar } f(x) = -c^T x$$

2.1.3 Funcionamiento del método simplex

Una vez definidas las variables, las restricciones y la función objetivo se obtiene un modelo o problema de programación lineal, el cual puede ser resuelto por diferentes métodos, como, por ejemplo el método simplex, métodos de puntos interiores, entre otros [7]. El método Simplex es uno de los más usados para resolver este tipo de problemas ya que es muy sencillo de entender y aplicar. Los pasos de su funcionamiento pueden ser explicados de forma geométrica. En cualquier problema de programación lineal las restricciones definen el área donde se encuentran todas las posibles soluciones factibles del problema, por lo que la solución óptima de los problemas se alcanza en algún punto de dicha área, la cual se conoce con el nombre de región factible.

Esta área estará delimitada por las funciones de las restricciones y la función objetivo alcanzará el máximo o mínimo valor en alguno de los vértices de la región factible. Una forma de hallar la solución de un problema de programación lineal puede ser determinar numéricamente todos los vértices de la región factible y evaluar la función objetivo en dichos vértices para así determinar el óptimo (máximo o mínimo) de la función objetivo. En la práctica, el número de variables y restricciones puede ser muy grande por lo que es complicado determinar los vértices de la región factible. El método Simplex utiliza una estrategia simple para visitar los vértices de la región factible de tal forma que en cada paso del método la función objetivo aumente o disminuya según sea un problema de maximización o minimización. El método finaliza cuando ya no es posible seguir aumentando o disminuyendo el valor de la función objetivo según el problema planteado. La Figura 1. Región factible problema sencillo simplex muestra la región factible y los vértices de la región para un problema en particular de dimensión dos (2).

En la siguiente sección se plantea un ejemplo muy sencillo de programación lineal con dos (2) variables de decisión para ilustrar numérica y geoméricamente los pasos del método, donde se observa como el método se mueve de un vértice a otro.

2.1.4 Ejemplo de un problema de programación lineal sencillo

Considere el siguiente problema sencillo: un mayorista de refrescos dispone de 13 refrescos de Cola con cafeína y de 18 refrescos de Cola sin cafeína. A la hora de vender los refrescos, estos se venden en paquetes de dos tipos:

- Paquete tipo A: 3 refrescos con cafeína y 3 refrescos sin cafeína. Precio de venta: 6€
- Paquete tipo B: 2 refrescos con cafeína y 4 refrescos sin cafeína. Precio de venta: 5€

Teniendo estos datos en cuenta. ¿Cuántos paquetes de cada tipo debe vender para maximizar los beneficios? Este problema puede ser planteado como un problema de Programación Lineal y para ello se definirá las variables de decisión, las restricciones y la función objetivo de este problema.

- Variables de decisión: Se definen dos variables de decisión que corresponden a las incógnitas del problema, las cuales son:

$$x_1 = \text{número de paquetes tipo A}$$

$$x_2 = \text{número de paquetes tipo B}$$

- Restricciones del problema: Con los datos proporcionados por el mayorista se construye la Tabla 2-1. Problema ejemplo método simplex, la cual resume toda la información necesaria para plantear las restricciones lineales del problema.

RESTRICCIONES:	PAQUETE A	PAQUETE B	DISPONIBILIDAD
COLA CON CAFEÍNA	3	2	13
COLA SIN CAFEÍNA	3	4	18
PRECIO VENTA	6€	5€	

Tabla 2-1. Problema ejemplo método simplex

$$\text{Restricciones} \left\{ \begin{array}{l} 3x_1 + 2x_2 \leq 13 \\ 3x_1 + 4x_2 \leq 18 \\ x_1 \geq 0 \\ x_2 \geq 0 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{La región que definen estas} \\ \text{restricciones se observa en} \\ \text{la Figura 1. Región factible} \\ \text{problema sencillo simplex.} \end{array}$$

- Función objetivo: De la misma Tabla 2-1. Problema ejemplo método simplex se extraen los precios de los paquetes de refresco de cada tipo y la función lineal que representa el objetivo del mayorista, que es maximizar sus ganancias:

$$\text{Maximizar } Z = 6x_1 + 5x_2$$

Finalmente, el modelo de programación lineal se escribe como:

$$(P_1) \left\{ \begin{array}{l} \text{Maximizar } Z = 6x_1 + 5x_2 \\ 3x_1 + 2x_2 \leq 13 \\ 3x_1 + 4x_2 \leq 18 \\ x_1 \geq 0 \\ x_2 \geq 0 \end{array} \right.$$

2.1.5 Resolución del problema por el Método Simplex

El método Simplex para resolver un problema de programación lineal escribe el problema como un sistema de ecuaciones lineales agregando nuevas variables: las llamadas variables de holgura. En cada iteración del método se incrementa el valor de la función objetivo sin violar las restricciones del problema. Para el ejemplo de la Funcionamiento del método simplex el problema se reescribe en función de las variables de holgura como:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Maximizar } Z = 6x_1 + 5x_2 \\ x_3 = 13 - 3x_1 - 2x_2 \\ x_4 = 18 - 3x_1 - 4x_2 \\ x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0 \end{array} \right.$$

donde x_3, x_4 son las variables de holgura (una variable por cada restricción, sin incluir las restricciones de positividad)

El sistema de ecuaciones lineales para el ejemplo de la Ejemplo de un problema de programación lineal sencillo viene dado por:

$$x_3 = 13 - 3x_1 - 2x_2 \quad (\text{A.1})$$

$$x_4 = 18 - 3x_1 - 4x_2 \quad (\text{A.2})$$

$$Z = 6x_1 + 5x_2 \quad (\text{A.3})$$

El punto factible ($x_1 = x_2 = 0, x_3 = 13$ y $x_4 = 18$; con $Z = 0$) corresponde al vértice 1 y es la solución factible del sistema (A).

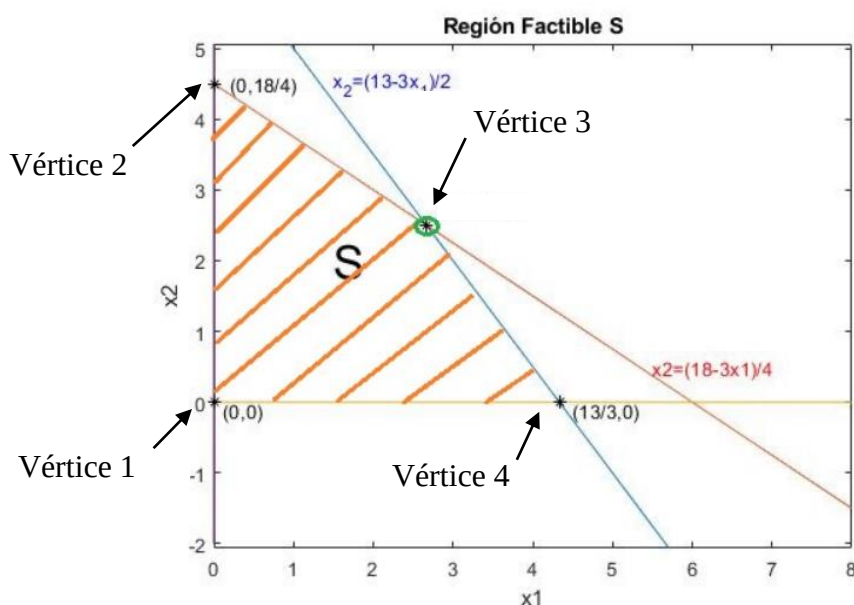


Figura 1. Región factible problema sencillo simplex

Se observa en el sistema (A) que $Z = 6x_1 + 5x_2$ y como las variables $x_1, x_2 \geq 0$, se puede incrementar el valor de Z , haciendo $x_1 \neq 0$ y manteniendo $x_2 = 0$ sin violar las restricciones de positividad. Para ello debe cumplirse que:

$$x_3 = 13 - 3x_1 \geq 0 \longrightarrow x_1 \leq 13/3$$

$$x_4 = 18 - 3x_1 \geq 0 \longrightarrow x_1 \leq 18/3$$

El mayor incremento se obtiene cuando $x_1 = 13/3$, entonces despejando x_1 de (A.1) se tiene que:

$$x_1 = \frac{13 - 2x_2 - x_3}{3} \quad (1)$$

Sustituyendo (1) en (A.2) y (A.3) se obtiene:

$$\begin{aligned} x_4 &= 18 - 3\left(\frac{13 - 2x_2 - x_3}{3}\right) - 4x_2 \\ &= 18 - 13 + 2x_2 + x_3 - 4x_2 \\ &= 5 - 2x_2 + x_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= 6\left(\frac{13 - 2x_2 - x_3}{3}\right) + 5x_2 \\ &= 26 - 4x_2 - 2x_3 + 5x_2 \\ &= 26 + x_2 - 2x_3 \end{aligned}$$

El nuevo sistema de ecuaciones es:

$$x_1 = \frac{13 - 2x_2 - x_3}{3} \quad (B.1)$$

$$x_4 = 5 - 2x_2 - x_3 \quad (B.2)$$

$$Z = 26 + 6x_2 + x_3 \quad (B.3)$$

La solución factible ($x_2 = x_3 = 0, x_1 = 13/3$ y $x_4 = 5$; con $Z = 26$) del sistema (B) corresponde con el vértice 4 en la Figura 1. Región factible problema sencillo simplex En el sistema (B) se observa un incremento de la función objetivo de 0 a 26. Todavía se puede incrementar más el valor de la función Z , ya que el coeficiente de $x_2 \geq 0$. Se decide incrementar x_2 ($x_2 \neq 0$) manteniendo $x_3 = 0$ sin violar las restricciones de positividad, entonces:

$$x_1 = \frac{13 - 2x_2}{3} \geq 0 \longrightarrow x_2 \leq 13/2$$

$$x_4 = 5 - 3x_2 \geq 0 \longrightarrow x_2 \leq 5/3$$

Por lo tanto, el máximo incremento de x_2 sin violar las restricciones es $x_2 = 5/3$. Despejando x_2 de (B.2) se obtiene:

$$x_2 = \frac{5 + x_3 - x_4}{2} \quad (2)$$

Sustituyendo (2) en (B.1) y (B.3), se obtiene:

$$\begin{aligned} x_1 &= 4 - \frac{2}{3} \left(\frac{5 + x_3 - x_4}{2} \right) - \frac{x_2}{3} \\ &= \frac{7}{3} - \frac{2x_3}{3} + \frac{x_4}{3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= 26 + \frac{5}{2} + \frac{x_3}{2} - \frac{x_4}{2} - 2x_3 \\ &= \frac{57}{2} - \frac{3x_3}{2} - \frac{x_4}{2} \end{aligned}$$

El nuevo sistema de ecuaciones resultante es:

$$x_1 = \frac{7 - 2x_3 + x_4}{3} \quad (C.1)$$

$$x_1 = \frac{5 + x_3 - x_4}{2} \quad (C.2)$$

$$Z = \frac{57 - 3x_2 - x_4}{2} \quad (C.3)$$

La solución factible del sistema (C) es $x_3 = x_4 = 0, x_1 = 8/3$ y $x_2 = 5/2$ con $Z = 57/2$ (Vértice 3). Se observa en el sistema (C) que ya no se puede incrementar más la función objetivo Z . Por lo tanto, la solución óptima del problema corresponde al vértice 3, como se puede ver en la Figura 2. Solución problema sencillo simplex

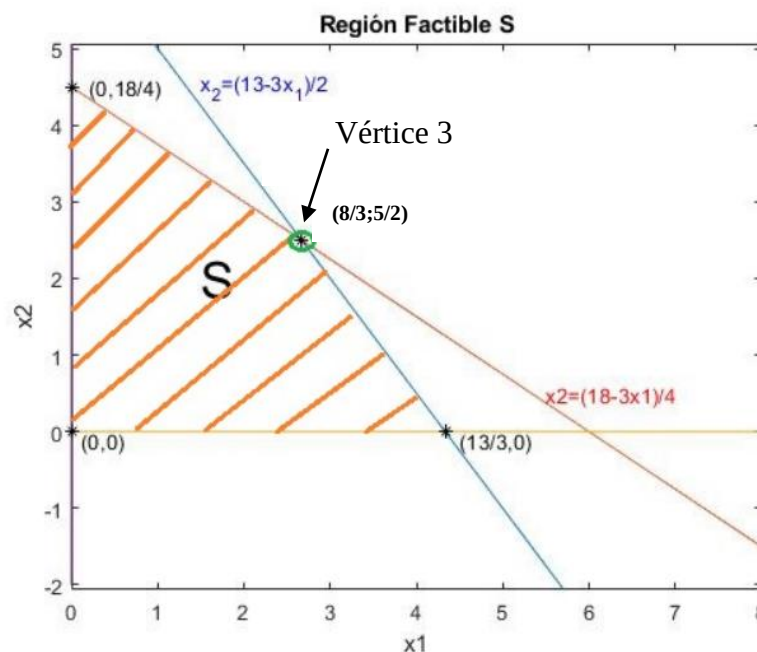


Figura 2. Solución problema sencillo simplex

2.1.6 Solución problema de Programación Lineal con variables enteras

Considere el ejemplo de programación lineal presentado en la Sección 2.1.4 Ejemplo de un problema de programación lineal sencillo, pero agregando la condición de que las variables, además de ser mayores o iguales que cero, sean números enteros, esto es:

$$(P_2) \begin{cases} \text{Maximizar } Z = 6x_1 + 5x_2 \\ 3x_1 + 2x_2 \leq 13 \\ 3x_1 + 4x_2 \leq 18 \\ x_1 \geq 0 \\ x_2 \geq 0 \\ x_1, x_2 \text{ números enteros} \end{cases}$$

La Figura 3. Solución entera problema simplex sencillo muestra la región factible (que no es área sino un conjunto finito de posibles puntos) además de la solución óptima, la cual se encuentra resaltada por un círculo verde.

Uno de los métodos más usados para resolver el problema de programación lineal entera pura y mixta es el método de Ramificación y Acotamiento (“Branch and Bound” en inglés) (BB) que consiste en construir y resolver diferentes problemas programación lineal que puedan tener solución entera [8]. Para ello, se relaja y ramifica en forma de árbol el problema original y los sub-problemas generados que no tengan solución entera. En cada ramificación se divide el problema en dos nuevos sub-problemas, obtenidos mediante la imposición de restricciones excluyentes que dividen el conjunto de oportunidades del problema original en dos partes, pero eliminando en ambas partes la solución no entera del problema original.

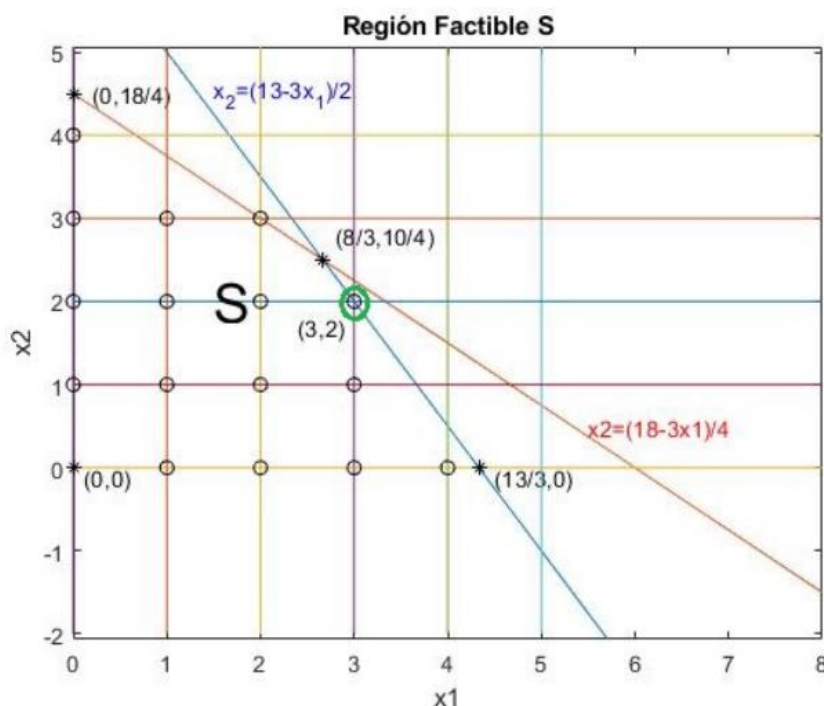
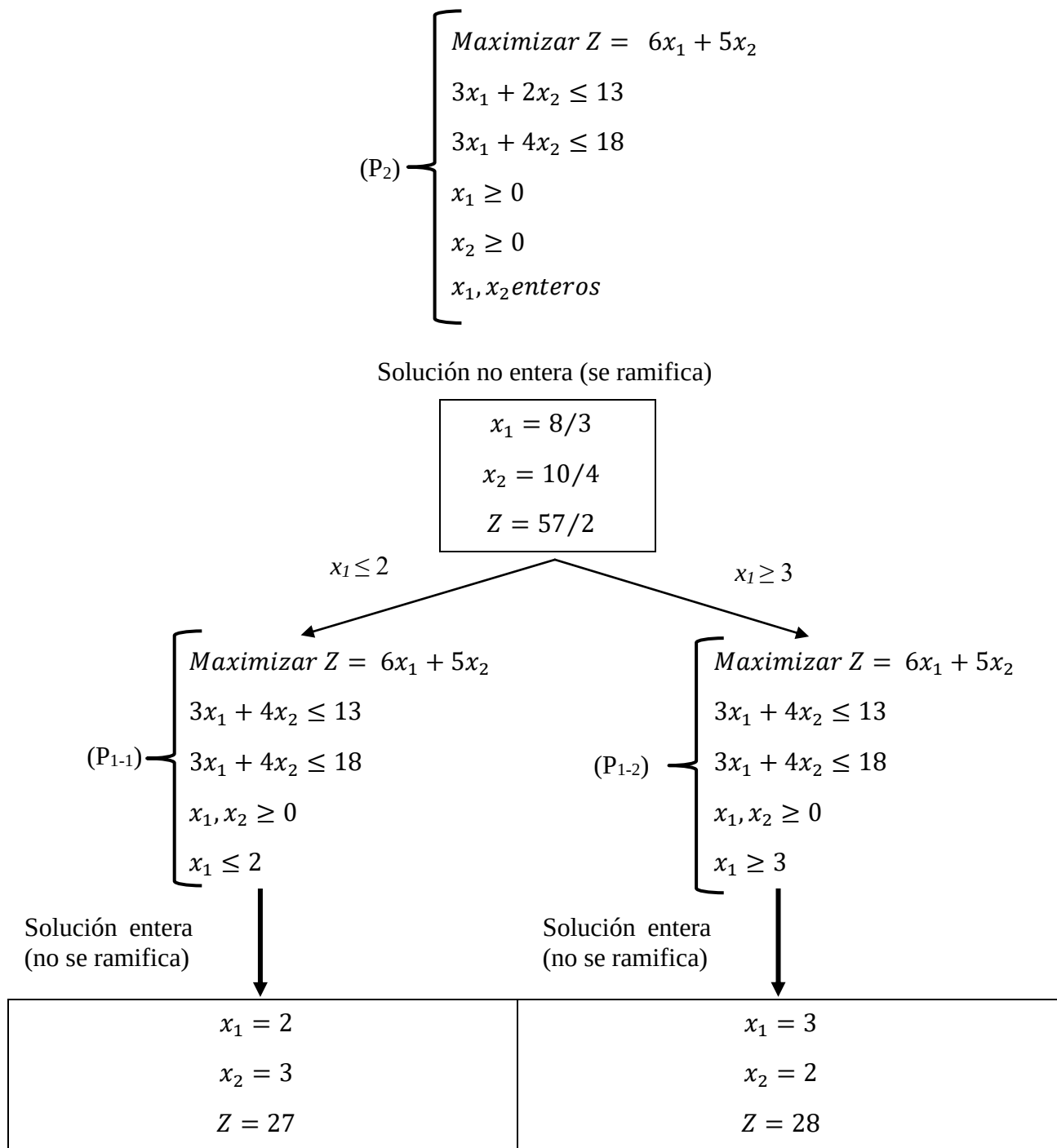


Figura 3. Solución entera problema simplex sencillo

A continuación, se muestran las ramificaciones y el árbol generado para resolver el problema (P2):



2.1.7 Solución del problema de Programación Lineal con variables enteras y binarias

Considere el ejemplo de PL presentado en la Sección 2.1.4, pero agregando la condición de que las variables además de ser mayores o iguales que cero, ser números enteros, sean binarias, esto es:

$$(P_3) \left\{ \begin{array}{l} \text{Maximizar } 6x_1 + 5x_2 \\ 3x_1 + 4x_2 \leq 13 \\ 3x_1 + 4x_2 \leq 18 \\ 0 \leq x_1 \leq 1 \\ 0 \leq x_2 \leq 1 \\ x_1, x_2 \text{ enteros} \end{array} \right.$$

Aplicando el método BB se obtiene el siguiente árbol:

$$(P_3) \left\{ \begin{array}{l} \text{Maximizar } 6x_1 + 5x_2 \\ 3x_1 + 4x_2 \leq 13 \\ 3x_1 + 4x_2 \leq 18 \\ 0 \leq x_1 \leq 1 \\ 0 \leq x_2 \leq 1 \end{array} \right.$$



Solución no entera (no se ramifica)

$x_1 = 1$
$x_2 = 1$
$Z = 11$

Como la solución del problema original es entera y binaria no se ramifica más y la solución del problema es $x_1 = 1, x_2 = 1$ con $Z = 11$. La región factible (conjunto finito de puntos) y la solución del problema (P3) se muestra en la Figura 4. Solución entera binaria problema sencillo simplex

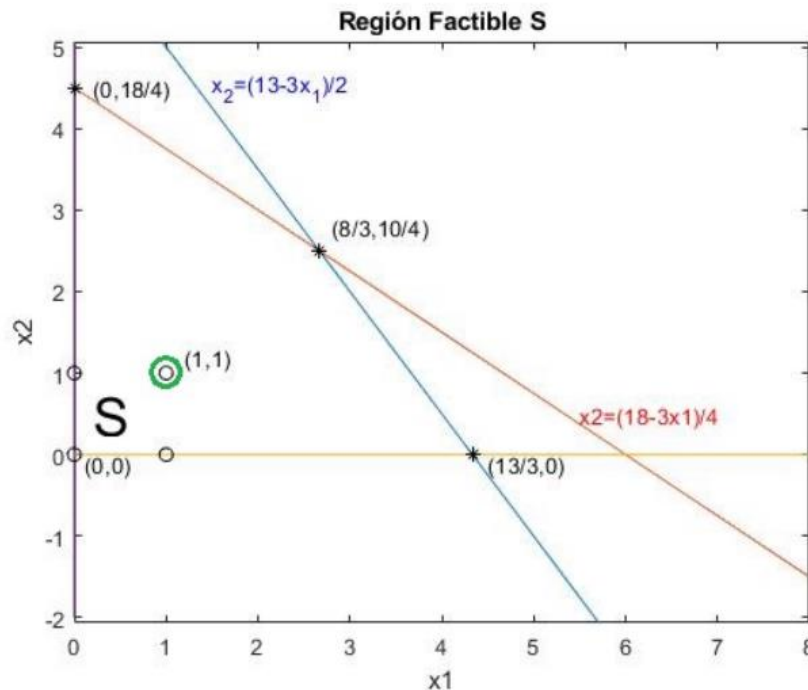


Figura 4. Solución entera binaria problema sencillo simplex

2.2 Plan de combate de un buque

La jerarquía en las Fuerzas Armadas se refiere a la estructura de autoridad y responsabilidad en una organización militar. Esta jerarquía establece una línea clara de mando y control, lo que permite a las Fuerzas Armadas operar de manera ordenada, eficiente y coordinada. La jerarquía en las Fuerzas Armadas es importante para asegurar una operación eficiente y una respuesta rápida ante situaciones de emergencia [1].

Todo cuerpo o fuerza de seguridad basa su organización en una jerarquía. Esta jerarquía hace posible que las misiones y objetivos de estas organizaciones se cumplan en un tiempo y lugar determinados. También ayuda a dar a cada miembro unas misiones y responsabilidades bien definidas y así evitar que no se quede ninguna sin cubrir.

A nivel ejército, la jerarquía funcional es:

- Nivel político: Este nivel es el encargado de definir las líneas generales y objetivos de las Fuerzas Armadas. Estos objetivos van desde el desarrollo tecnológico y la investigación hasta la acción social y el reclutamiento.
- Nivel estratégico: Es el nivel superior, en el que se establecen los objetivos estratégicos militares, se definen y asignan las capacidades necesarias, se establecen las limitaciones y se coordinan las actividades militares con otras no militares que persiguen el mismo fin.
- Nivel operacional: En este nivel se planea, conduce y sostiene la campaña. En él se articulan las acciones tácticas de forma que su combinación, coordinada y sincronizada permita alcanzar objetivos estratégicos.
- Nivel táctico: Este es el nivel en el que se desarrollan la acción y actividades que permiten alcanzar los objetivos operacionales. En este nivel serán más frecuentes las actividades específicas.

Los ejércitos desarrollarán la doctrina específica de empleo táctico de sus fuerzas en operaciones tomando como referencia la doctrina de acción conjunta. A nivel administrativo:

- Oficiales generales: Líderes de alto rango en las fuerzas armadas, responsables de planificación estratégica, comando y control, entrenamiento, logística, representación, toma de decisiones y gestión del presupuesto. Tienen la tarea de asegurar la preparación y eficiencia de las fuerzas armadas y representarlas ante el gobierno y la opinión pública.
- Oficiales: Responsables de dirigir y supervisar a las tropas y asegurar su preparación y eficiencia. Desarrollan y ejecutan planes estratégicos y toman decisiones importantes en situaciones de combate y misiones. Deben fomentar un entorno de trabajo positivo y resolver conflictos internos. También son responsables de representar a las fuerzas armadas ante superiores y otros líderes militares y de garantizar la seguridad nacional.
- Suboficiales: Líderes intermedios responsables de supervisar y dirigir a las tropas en su día a día. Implementan políticas y procedimientos establecidos por los oficiales y ayudan en la planificación y ejecución de misiones. También desempeñan un papel importante en la formación y desarrollo de las tropas, brindando orientación y mentoría. Los suboficiales también actúan como intermediarios entre las tropas y los oficiales, transmitiendo información y resolviendo problemas.
- Tropa y marinería: Miembros fundamentales de las fuerzas armadas, encargados de llevar a cabo las misiones y tareas asignadas. Realizan tareas de combate y apoyo logístico en situaciones de conflicto y misiones humanitarias. También participan en entrenamientos y simulaciones para mantener su capacitación y preparación. Es importante que se mantengan disciplinados y sigan las órdenes de sus superiores. La tropa y la marinería también son responsables de proteger la seguridad nacional y defender los intereses del país.

En los barcos hay 2 tipos de organizaciones. Estas son:

- Organización administrativa (preparación de la fuerza): Esta organización está dividida por servicios, que a su vez están divididos en destinos. Cada destino es responsable del uso, mantenimiento y reparación de todos los sistemas que pertenezcan a este destino y de la instrucción y adiestramiento del personal que se encuadra en este destino.
- Organización operativa (empleo de la fuerza): Este tipo de organización está dividida en controles y estos a su vez en sub-controles. En esta organización se muestra qué puesto debe ocupar cada miembro de la dotación en los buques cuando se encuentran navegando y cumpliendo con su misión. Este tipo de organización se verá reflejada en un plan de combate.

El plan de combate refleja quien tiene que ocupar cada puesto en función de la situación operativa del buque. Esto significa que hay puestos que se activan o no en función de la situación. Realizar el plan de combate de un buque puede llegar a ser una tarea complicada y depende fuertemente del tamaño del buque y de las especialidades y aptitudes del personal del buque. Por lo que, generar herramientas que modelen y automaticen este proceso para las diferentes situaciones del buque que además tomen en consideración las características jerárquicas, de capacidad y de antigüedad del personal del buque contribuyen a la óptima operatividad del buque.

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Problema inicial

En este trabajo se propone un modelo de PL para generar un plan de combate óptimo de acuerdo al número de puestos de trabajo o tamaño del buque y de las características del personal a bordo. En las siguientes secciones de este capítulo se explican todas las etapas para la modelación del plan de combate de un buque (PLANCO).

3.1.1 Definición del problema inicial

Con el fin obtener el modelo inicial del plan de combate de un buque se comienza planteando el problema de la forma más sencilla posible. Para ello, se definen todas las condiciones que se quiere tomar en cuenta a la hora de modelar dicho problema, las cuales son:

- El número de personal a bordo del buque es “ n ”. Se usará el subíndice i para referirnos al miembro de la dotación, entonces $i = 1, 2, 3, \dots, n$.
- El número de puestos en el plan de combate a distribuir es “ m ”. Se usará el subíndice j para referirnos al puesto, entonces $j = 1, 2, 3, \dots, m$.
- Para cada puesto se requerirá una persona.
- Es conveniente que el personal que desempeñen el puesto j haya cursado los k_j cursos de adiestramiento y formación para ese puesto j . Al haber m puestos, se define el vector k de tamaño m , donde la componente k_j del vector, contiene el número de cursos totales requeridos para el puesto j .
- Es deseable que el personal asignado al puesto j , tenga experiencia previa en ese puesto. En el caso de que haya dos o más personas con los mismos cursos para el puesto j . Sea el vector e de tamaño m aquel que contiene en cada posición j del vector, la experiencia previa en el puesto j .
- Todo el personal a bordo debe de ser asignado a un puesto de trabajo.
- Cada miembro del personal puede ser asignado a un solo puesto.

Para la modelación inicial del plan de combate de un buque (PLANCO) se toman en consideración las condiciones previamente presentadas. Todos los detalles necesarios para la generación de un modelo inicial de PL para el PLANCO se muestran en las siguientes secciones de este capítulo.

3.1.2 Variables del problema

Sabiendo que n es el número de personal del buque y que m es el número de puestos de trabajo a asignar, y que inicialmente cada persona i puede ser asignado a cualquier puesto j , se definen para $i = 1, 2, 3, \dots, n$ y $j = 1, 2, 3, \dots, m$, las siguientes variables de decisión x_{ij} :

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la persona } i \text{ es asignada al puesto } j \\ 0 & \text{si la persona } i \text{ es asignada al puesto } j \end{cases}$$

Es claro que el número de variables (incógnitas del problema) son $n * m$. Para simplificar la notación se define el vector de incógnitas x como:

$$x = (x_{11}, x_{21}, \dots, x_{n1}, x_{12}, x_{22}, \dots, x_{n2}, \dots, x_{1m}, x_{2m}, \dots, x_{nm})^T$$

3.1.3 Restricciones del problema

Las restricciones del problema PLANCO son obtenidas de las condiciones previamente planteadas:

- Restricción formación de personal: Sea A la matriz de dimensión $n * m$ donde cada posición A_{ij} contiene el número de cursos totales que la persona i ha realizado para ocupar el puesto j , y sea el vector k , de dimensión m , tal que cada posición k_j contiene el número de cursos máximos para optar al puesto j . Esto permite escribir las restricciones relacionadas con la formación del personal como:

Puesto $j = 1$:

$$\begin{array}{ll}
 \text{persona } i = 1 & A_{11} * x_{11} \leq k_1 \\
 \text{persona } i = 2 & A_{21} * x_{21} \leq k_1 \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 \text{persona } i = n & A_{n1} * x_{n1} \leq k_1
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array}} \right\}
 \begin{array}{l}
 A_{i1} * x_{i1} \leq k_1 \\
 i = 1, 2, \dots, n \\
 n \text{ ecuaciones}
 \end{array}$$

Puesto $j = 2$:

$$\begin{array}{ll}
 \text{persona } i = 1 & A_{12} * x_{12} \leq k_2 \\
 \text{persona } i = 2 & A_{22} * x_{22} \leq k_2 \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 \text{persona } i = n & A_{n2} * x_{n2} \leq k_2 \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & \cdot
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array}} \right\}
 \begin{array}{l}
 A_{i2} * x_{i2} \leq k_2 \\
 i = 1, 2, \dots, n \\
 n \text{ ecuaciones}
 \end{array}$$

Puesto $j = m$:

$$\begin{array}{ll}
 \text{persona } i = 1 & A_{1m} * x_{1m} \leq k_m \\
 \text{persona } i = 2 & A_{2m} * x_{2m} \leq k_m \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 \text{persona } i = n & A_{nm} * x_{nm} \leq k_m
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array}} \right\}
 \begin{array}{l}
 A_{im} * x_{im} \leq k_m \\
 i = 1, 2, \dots, n \\
 n \text{ ecuaciones}
 \end{array}$$

Es claro que el total de ecuaciones relacionadas con la formación es n para cada puesto j . Como hay m puestos, tenemos $n * m$ ecuaciones lineales de desigualdad. Para simplificar la notación se construye la matriz diagonal AA aquella que tiene en su diagonal las columnas de A una a continuación de la otra, de la siguiente forma:

$$AA = \text{diagonal}(A_{11}, A_{21}, \dots, A_{n1}, A_{12}, A_{22}, \dots, A_{n2}, \dots, A_{1m}, A_{2m}, \dots, A_{nm})$$

También se define el vector b , de dimensión $n * m$, como el que contiene todos los elementos del lado derecho de las desigualdades $A_{ij} * x_{ij} \leq k_j$, esto es:

$$b = (\underbrace{k_1, k_1, \dots, k_1}_{n \text{ veces}}, k_2, k_2, \dots, k_2, \dots, k_m, k_m, \dots, k_m)^T$$

Por lo tanto, estas restricciones de desigualdad se escriben en forma matricial como:

$$AA x \leq b$$

- Restricción de experiencia requerida o distribución de los puestos al personal de mayor experiencia en el puesto: Sea B la matriz de dimensión $n * m$, tal que cada posición B_{ij} contiene el número de horas de experiencia que la persona i ha ocupado el puesto j . Se define el vector e , de dimensión m , tal que cada posición e_j contiene el mínimo de horas de experiencia requeridas para el puesto j . Esto hace que las restricciones relacionadas con la experiencia del personal se escriban como:

Puesto $j = 1$:

<i>persona $i = 1$</i>	$B_{11} * x_{11} \geq e_1$	$B_{i1} * x_{i1} \geq e_1$ $i = 1, 2, \dots, n$ $n \text{ ecuaciones}$
<i>persona $i = 2$</i>	$B_{21} * x_{21} \geq e_1$	
.	.	
.	.	
.	.	
<i>persona $i = n$</i>	$B_{n1} * x_{n1} \geq e_1$	

Puesto $j = 2$:

<i>persona $i = 1$</i>	$B_{12} * x_{12} \geq e_2$	$B_{i2} * x_{i2} \geq e_2$ $i = 1, 2, \dots, n$ $n \text{ ecuaciones}$
<i>persona $i = 2$</i>	$B_{22} * x_{22} \geq e_2$	
.	.	
.	.	
.	.	
<i>persona $i = n$</i>	$B_{n2} * x_{n2} \geq e_2$	
.	.	
.	.	
.	.	

Puesto $j = m$:

$$\begin{array}{ll}
 \text{persona } i = 1 & B_{1m} * x_{1m} \geq e_m \\
 \text{persona } i = 2 & B_{2m} * x_{2m} \geq e_m \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 \text{persona } i = n & B_{nm} * x_{nm} \geq e_m
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \end{array}} \right\}
 \begin{array}{l}
 B_{im} * x_{im} \geq e_m \\
 i = 1, 2, \dots, n \\
 n \text{ ecuaciones}
 \end{array}$$

Nuevamente, el total de ecuaciones relacionadas con la experiencia es n para cada puesto. Como hay m puestos, se tienen $n * m$ ecuaciones lineales de desigualdad. Para simplificar la notación se construye la matriz diagonal BB que en su diagonal tiene las columnas de la matriz B una a continuación de la otra, de la siguiente forma:

$$BB = \text{diagonal}(B_{11}, B_{21}, \dots, B_{n1}, B_{12}, B_{22}, \dots, B_{n2}, \dots, B_{1m}, B_{2m}, \dots, B_{nm})$$

Como antes, se define el vector d , de dimensión $n * m$, como el que contiene todos los elementos del lado derecho de las desigualdades $B_{ij}x_{ij} \geq e_j$, esto es:

$$d = (\underbrace{e_1, e_1, \dots, e_1}_{n \text{ veces}}, e_2, e_2, \dots, e, \dots, e_m, e_m, \dots, e_m)^T$$

Por lo tanto, la expresión matricial de estas restricciones es:

$$BB x \geq d$$

- Una persona solo puede ocupar un puesto máximo:

$$\begin{array}{ll}
 \text{persona } i = 1 & \sum_{j=1}^m x_{1j} \leq 1 \\
 \text{persona } i = 2 & \sum_{j=1}^m x_{2j} \leq 1 \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 \text{persona } i = n & \sum_{j=1}^m x_{nj} \leq 1
 \end{array}$$

Se observa que el número total de restricciones de desigualdad en este caso es n . Estas inecuaciones se pueden escribir en forma matricial como:

$$A_3 x \leq b_3$$

donde $A_3 = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}}_{n \times n} \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}}_{n \times n} \cdots \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}}_{n \times n} \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}}_{n \times n}$

$m \text{ veces}$

$$\text{y el vector } b_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \in R^n$$

- No se pueden asignar más puestos de los existentes:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} = \min(n, m)$$

Esta ecuación se escribe en forma matricial como:

$$A_4 x = b_4$$

$$\text{donde } A_4 = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}}_n \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}}_n \cdots \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}}_n$$

$m \text{ veces}$

$$b_4 = \min(n, m)$$

- Cada puesto puede ser ocupado por una persona máximo:

$$\text{Puesto } j=1 \quad \sum_{i=1}^n x_{i1} \leq 1$$

$$\text{Puesto } j=2 \quad \sum_{i=1}^n x_{i2} \leq 1$$

$$\begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \quad \begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array}$$

$$\text{Puesto } j=m \quad \sum_{i=1}^n x_{im} \leq 1$$

Estas inecuaciones se escriben en forma matricial como:

$$A_5 x \leq b_5$$

$$\text{donde } A_5 = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}}_{m * n} \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}}_{m * n} \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}}_{m * n}$$

$m \text{ veces}$

$$\text{y el vector } b_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \in R^m$$

3.1.4 Función objetivo

Se proponen las diferentes funciones objetivo para minimizar la cantidad de personas en los diferentes puestos de trabajo, de acuerdo con los valores de n y m :

Para $n \geq m$:

$$\text{Minimizar } f_1(x) = \sum_{i=1}^{n*m} x_i$$

Para $m \geq n$:

$$\text{Minimizar } f_2(x) = \sum_{i=1}^{n*m} c_i x_i$$

Los valores c_j corresponden a las prioridades de los puestos. Cuanto menor es el valor de c_j , mayor es la prioridad tiene ese puesto j . El vector c tiene dimensión $n * m$ y permite priorizar la importancia de los puestos, de manera que las personas se asignen a los n puestos prioritarios, este vector viene dado por:

$$c = \underbrace{(c_1, c_1, \dots, c_1)}_{n \text{ veces}}, c_2, c_2, \dots, c_2, \dots, c_m, c_m, \dots, c_m)^T$$

3.1.5 Modelos de programación lineal para resolver el plan de combate de un buque

Habiendo definido las variables de decisión, las restricciones y las funciones objetivo, se proponen dos modelos iniciales para modelar el PLANCO, estos son:

Modelo 1: Para $n \geq m$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimizar } f_1(x) = \sum_{i=1}^{n*m} x_i \\ \text{tal que:} \\ AA \ x \leq b \\ BB \ x \geq d \\ A_3 \ x \leq b_3 \\ A_4 \ x = b_4 \\ A_5 \ x \leq b_5 \\ 0 \leq x_i \leq 1 \\ x \text{ vector con componentes enteras} \end{array} \right.$$

Modelo 2: Para $m \geq n$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimizar } f_2(x) = \sum_{i=1}^{n*m} c_i x_i \\ \text{tal que:} \\ AA \ x \leq b \\ BB \ x \geq d \\ A_3 \ x \leq b_3 \\ A_4 \ x = b_4 \\ A_5 \ x \leq b_5 \\ 0 \leq x_i \leq 1 \\ x \text{ vector con compenentes enteras} \end{array} \right.$$

En el PLANCO es bastante común que el personal de la dotación, que opta por los puestos de trabajo, no haya completado ciertos cursos requeridos para alguno de los puestos, y que, además, no cumpla con la experiencia mínima necesaria para ocupar estos puestos.

Por lo tanto, las dos formulaciones planteadas (Modelo 1 y Modelo 2) pueden no ser factibles, es decir, el conjunto generado por las restricciones $AA \ x \leq b$ y $BB \ x \geq d$ puede ser vacío. Para resolver dicho problema, se propone asignar a la persona i al puesto j , donde la diferencia entre el valor total de cursos requeridos y el valor real de cursos aprobados por la persona i para el puesto j sea mínima. De forma similar, se pretende también que la diferencia entre el valor total de horas de experiencia requerida y el valor real de las horas experiencia de la persona i para el puesto j sea mínimo. Para ello, se define la siguiente función multi-objetivo:

$$\text{Minimizar } f_3(x) = \sum_{i=1}^{n*m} (b_i - AA_{ii} x_i) + (d_i - BB_{ii} x_i)$$

Por lo que el nuevo modelo que se propone encontrará siempre una solución óptima independientemente de si todos los miembros de la dotación a bordo cumplen o no con los requisitos mínimos de capacidades y experiencia para algún puesto, además de que es independiente de los valores de n y m .

Modelo 3: Para $n \geq m$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimizar } f_3(x) = \sum_{i=1}^{n*m} -AA_{ii} x_i - BB_{ii} x_i \\ \text{tal que:} \\ A_3 x \leq b_3 \\ A_4 x = b_4 \\ A_5 x \leq b_5 \\ 0 \leq x_i \leq 1 \\ x \text{ vector con componentes enteras} \end{array} \right.$$

A pesar de que el Modelo 3 puede ser aplicado para cualquier valor de n y m . En el caso de que $n < m$, solo se necesita asignar personal a n puestos específicos. Por lo que, definiendo el vector c como antes, con las prioridades de los puestos más importantes, se obtiene el Modelo 4, que asignará personal únicamente a los n puestos más importantes:

Modelo 4: Para $n < m$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimizar } f_4(x) = \sum_{i=1}^{n*m} c_i x_i + \sum_{i=1}^{n*m} -AA_{ii} x_i - BB_{ii} x_i \\ \text{tal que:} \\ A_3 x \leq b_3 \\ A_4 x = b_4 \\ A_5 x \leq b_5 \\ 0 \leq x_i \leq 1 \\ x \text{ vector con componentes enteras} \end{array} \right.$$

3.2 Problema simple de plan de combate de un buque

En esta sección se utilizan datos no reales, de dimensión pequeña ($n = 5$ y $m = 5$), para analizar las soluciones del problema PLANCO obtenidas mediante los Modelos 3 y 4 y la utilización de la función de Matlab “intlinprog”. Cabe destacar que la función “intlinprog” utiliza el método BB el método simplex para la solución de cada sub-problema.

3.2.1 Datos del ejemplo simple PLANCO

Considere que se quiere conseguir el plan óptimo de combate de un buque siguiendo las condiciones anteriormente descritas con los siguientes parámetros:

- La dotación la conforman 5 personas ($n = 5$). Estos son Carlos, Pedro, María, Fernando y Erika.
- Hay 5 puestos ($m = 5$) a ocupar, por lo que cada puesto estará ocupado por una sola persona.
- A la hora de asignar cada puesto, es deseable haber hecho unos cursos en concreto. Estos cursos necesarios para cada puesto están reflejados en la Tabla 3-1 Cursos necesarios para cada puesto:

	PUESTO 1	PUESTO 2	PUESTO 3	PUESTO 4	PUESTO 5
CURSOS NECESARIOS	1	2	1	3	1
	2	3	2	4	3
	6	5	4	5	4
	7	6	5	8	7
	9	8	6		
TOTAL	5	5	6	4	4

Tabla 3-1 Cursos necesarios para cada puesto

- Cada persona de la dotación ha realizado y aprobado unos cursos. Estos vienen reflejados en la Tabla 3-2 Cursos realizados por cada persona:

	CARLOS	PEDRO	MARÍA	FERNANDO	ERIKA
CURSO 1	X		X	X	
CURSO 2	X	X	X		X
CURSO 3		X	X	X	X
CURSO 4		X	X	X	X
CURSO 5	X	X	X	X	
CURSO 6	X		X		
CURSO 7	X	X	X	X	X
CURSO 8					X
CURSO 9	X	X			X

Tabla 3-2 Cursos realizados por cada persona

- Teniendo en cuenta que para cada puesto requiere un número máximo de cursos, se puntuará a cada persona con el número de cursos que haya realizado para cada puesto. Esto permite generar la Tabla 3-3 Matriz persona-curso-puesto que contiene en cada posición, fila i columna j , el número total de cursos aprobados por la persona i para optar al puesto j , como se muestra en la Tabla 3-3 Matriz persona-curso-puesto. Por lo tanto, los datos de la Tabla 3-3 corresponden a la matriz AA .

	PUESTO 1	PUESTO 2	PUESTO 3	PUESTO 4	PUESTO 5
CARLOS	5	3	5	1	2
PEDRO	3	3	4	3	3
MARÍA	4	4	6	3	3
FERNANDO	2	2	4	3	4
ERIKA	3	3	3	3	3

Tabla 3-3 Matriz persona-curso-puesto

- Se hará lo mismo con las horas de experiencia en cada puesto. Tomando en cuenta la experiencia que cada persona tiene en los diferentes puestos de trabajo, se genera la Tabla 3-4 Matriz original persona-experiencia-puesto, que contiene en cada posición, fila i columna j , el número total de horas de experiencia de la persona i en el puesto j . Esto viene reflejado en la Tabla 3-4 Matriz original persona-experiencia-puesto.

	PUESTO 1	PUESTO 2	PUESTO 3	PUESTO 4	PUESTO 5
CARLOS	13	19	26	29	20
PEDRO	15	18	27	32	22
MARÍA	14	18	23	24	18
FERNANDO	16	21	25	29	15
ERIKA	20	20	15	0	10

Tabla 3-4 Matriz original persona-experiencia-puesto

- Con la finalidad de considerar a todas las personas con una mínima experiencia y así evitar fallos a la hora de resolver el problema se realizan modificaciones a la matriz persona-experiencia-puesto de la Tabla 3-4 Matriz original persona-experiencia-puesto, los cuales están reflejados en la Tabla 3-5 Matriz final persona-experiencia-puesto mostrada en la Tabla 3-5 Matriz final persona-experiencia-puesto. Los datos que han sufrido cambios se indican en rojo en dicha tabla. El primer cambio realizado consiste en colocar el valor uno (1) en aquellas posiciones de la matriz que tienen un cero (0). El otro cambio consiste en modificar la fila i columna j de la matriz, si las horas de experiencia de la persona i para el puesto j son mayores que las mínimas recomendadas para dicho puesto j , (e_j). Estos cambios modifican la Tabla 3-5 Matriz final persona-experiencia-puesto. Entonces la matriz A_2 es dimensión 5x5 y contiene la información de la Tabla 3-5 Matriz final persona-experiencia-puesto (Tabla 3-5).

	PUESTO 1	PUESTO 2	PUESTO 3	PUESTO 4	PUESTO 5
CARLOS	13	19	25	29	20
PEDRO	15	18	25	32	20
MARÍA	14	18	23	24	18
FERNANDO	15	20	25	29	15
ERIKA	15	20	15	1	10

Tabla 3-5 Matriz final persona-experiencia-puesto

3.2.2 Solución ejemplo simple PLANCO con Modelo 3

Generadas las matrices AA y BB correspondientes a los Datos del ejemplo simple PLANCO y teniendo las matrices A_3, A_4, A_5 como se definieron en las Restricciones del problema, se utiliza la función de MATLAB “`intlinprog.m`” para resolver el problema del Modelo 3. Se utiliza el Modelo 3 ya que $n = m = 5$. El vector solución x para este problema viene dado en la Tabla 3-6 Solución .

Puesto 1	Persona 1=0	0
	Persona 2=0	0
	Persona 3=1	1
	Persona 4=0	0
	Persona 5=0	0
Puesto 2	Persona 1=0	0
	Persona 2=0	0
	Persona 3=0	0
	Persona 4=0	0
	Persona 5=1	1
Puesto 3	Persona 1=1	1
	Persona 2=0	0
	Persona 3=0	0
	Persona 4=0	0
	Persona 5=0	0
Puesto 4	Persona 1=0	0
	Persona 2=0	0
	Persona 3=0	0
	Persona 4=1	1
	Persona 5=0	0
Puesto 5	Persona 1=0	0
	Persona 2=1	1
	Persona 3=0	0
	Persona 4=0	0
	Persona 5=0	0

Tabla 3-6 Solución ejemplo 5x 5 con el Modelo 3

En este ejemplo el valor óptimo alcanzado es $f_3(x) = -125$.

En este caso se observa que:

- Puesto 1: Ocupado por la persona 3, la cual es la segunda persona con más cursos y la cuarta con más experiencia (solo un 30% menos que la persona con más experiencia) para este puesto.
- Puesto 2: Ocupado por la persona 5, la cual es la segunda persona con más cursos (junto con las personas 1 y 2) y la persona con más experiencia (solo un 4,8% menos que la persona con más experiencia) para este puesto.
- Puesto 3: Ocupado por la persona 1, la cual es la segunda persona con más cursos y la segunda persona con más experiencia (solo 3,7% menos que la persona con más experiencia) para este puesto.
- Puesto 4: Ocupado por la persona 4, la cual es la persona junto con más cursos (junto con las personas 2, 3 y 5) y la segunda persona con más experiencia en este puesto (solo un 9,4% menos que la persona con más experiencia) para este puesto.
- Puesto 5: Ocupado por la persona 2, la cual es la tercera persona con más cursos (junto con la persona 5) y la persona con más experiencia para este puesto.

De los resultados obtenidos, puede parecer que el Modelo 3 le da más importancia a la experiencia que a los cursos necesarios. Sin embargo, hay que aclarar que solo María ha completado los cursos requeridos para el puesto 3 y que ningún otro miembro del personal ha completado los cursos para los diferentes puestos. Para hacer un análisis del comportamiento del Modelo 3 se propone un nuevo modelo que permite ponderar los pesos que se les da a los dos (2) términos de la función multi-objetivo de dicho modelo.

3.2.3 Solución Ejemplo simple PLANCO con modelo con pesos

Para hacer un análisis del comportamiento de las soluciones de PLANCO obtenidas mediante el Modelo 3, se propone el siguiente modelo de PL:

Modelo 5: Para $n \geq m$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimizar } f_5(x) = \sum_{i=1}^{n*m} -\alpha(AA_{ii} x_i) - \beta(BB_{ii} x_i) \\ \text{tal que:} \\ A_3 x \leq b_3 \\ A_4 x = b_4 \\ A_5 x \leq b_5 \\ 0 \leq x_i \leq 1 \\ x \text{ vector con componentes enteras} \end{array} \right.$$

A la hora de analizar que término de la función multi-objetivo del Modelo 3 puede imperar en los resultados se considera el Modelo 4 para diferentes valores de los parámetros alfa (α) y beta (β). La Tabla 3-7. Comparación de modelos de programación lineal muestra dichos resultados.

	SOLO CURSOS	BALANCE	SOLO EXPERIENCIA
	Modelo 6	Modelo 3	Modelo 7
	$\text{Min} \sum_{i=1}^{n*m} -AA_{ii} x_i$	$\text{Min} \sum_{i=1}^{n*m} -AA_{ii}x_i - BB_{ii}x_i$	$\text{Min} \sum_{i=1}^{n*m} -BB_{ii} x_i$
$\sum_{i=1}^{n*m} -AA_{ii} x_i$	-19	-17	-14
$\sum_{i=1}^{n*m} -AA_{ii} x_i - BB_{ii} x_i$	-124	-125	-123
$\sum_{i=1}^{n*m} -BB_{ii} x_i$	-105	-108	-109

Tabla 3-7. Comparación de modelos de programación lineal

Modelo 5: “Minimizar $\sum_{i=1}^{n*m} -\alpha(AA_{ii}x_i) - \beta(BB_{ii}x_i)$ ”								
	$\alpha = 0,6$	$\beta = 0,4$	$\alpha = 0,7$	$\beta = 0,3$	$\alpha = 0,8$	$\beta = 0,2$	$\alpha = 0,99$	$\beta = 0,01$
$\sum_{i=1}^{n*m} -AA_{ii} x_i$	-19		-17		-19		-19	
$\sum_{i=1}^{n*m} -AA_{ii}x_i - BB_{ii}x_i$	-124		-125		-124		-124	
$\sum_{i=1}^{n*m} -BB_{ii} x_i$	-105		-108		-105		-105	

Tabla 3-8. Comparación modelos de programación lineal (Modelo 5)

Se puede observar en la Tabla 3-7. Comparación de modelos de programación lineal que el menor valor óptimo de la función objetivo (-125) es el que da el Modelo 3, es decir, el que ya se estaba usando. Por otra parte, se observa que aún en el caso de que alfa sea grande 0,99, la solución no mejora. Por lo que el Modelo 3 parece funcionar bien si ambos términos de la función objetivo son casi del mismo orden de magnitud. En el caso de que esto no sea así se puede utilizar el Modelo 5 y jugar con los parámetros de alfa y beta.

3.2.4 Solución ejemplo simple PLANCO con $n < m$

En esta sección se considera el ejemplo del Datos del ejemplo simple PLANCO simple, pero con $n < m$, es decir, menos personal que puestos a ocupar en el buque. En particular, $n = 3$ y $m = 5$. Como solo hay 3 personas solo se pueden asignar 3 puestos de trabajo, entonces se define el vector c como:

$$c = (1,1,1, 100,100,100, 1,1,1, 100, 100,100,100,1,1,1)^T$$

donde los puestos prioritarios son el 1, 3 y 5. En este caso se consideran los datos de las 3 primeras personas y se utiliza el Modelo 4 con preferencias. Los resultados de este problema se muestran en la Tabla 3-9. Solución problema simple con Modelo 4 con preferencias y $n < m$

Puesto 1	Persona 1=0	0
	Persona 2=0	0
	Persona 3=1	1
Puesto 2	Persona 1=0	0
	Persona 2=0	0
	Persona 3=0	0
Puesto 3	Persona 1=1	1
	Persona 2=0	0
	Persona 3=0	0
Puesto 4	Persona 1=0	0
	Persona 2=0	0
	Persona 3=0	0
Puesto 5	Persona 1=0	0
	Persona 2=1	1
	Persona 3=0	0

Tabla 3-9. Solución problema simple con Modelo 4 con preferencias y $n < m$

Y el valor óptimo obtenido para la función objetivo es $f_4(x) = -67$.

Como se puede observar en la Tabla 3-9. Solución problema simple con Modelo 4 con preferencias y $n < m$:

- Puesto 1: Se le asigna a la persona 3, la cual es la segunda persona con más cursos y la cuarta con más experiencia (solo un 30% menos que la persona con más experiencia) para este puesto.
- Puesto 2: no se asigna a nadie.
- Puesto 3: Se le asigna a la persona 1, la cual es la segunda persona con más cursos y la segunda persona con más experiencia (solo 3,7% menos que la persona con más experiencia) para este puesto.
- Puesto 4: No se asigna a nadie.

- Puesto 5: Se le asigna a la persona 2, la cual es la tercera persona con más cursos (junto con la persona 5) y la persona con más experiencia para este puesto.

Se puede observar que en efecto los puestos 2 y 5 no fueron asignados, como se esperaba.

3.2.5 Solución ejemplo simple PLANCO para $n < m$ sin preferencias

En esta sección se considera el mismo ejemplo de los datos del ejemplo simple PLANCO, pero con $n < m$, es decir menos personal que puestos a ocupar en el buque. En particular, $n = 3$ y $m = 5$. En este caso se pretende que el modelo asigne los 3 puestos, pero sin priorizar los puestos de trabajo, es decir se utiliza el Modelo 3. Se toman los datos correspondientes a las 3 primeras personas (filas 1-3) y todos los puestos. La solución obtenida viene dada en la Tabla 3-10 Solución problema simple con Modelo 3 sin preferencias y $n < m$.

Puesto 1	Persona 1=0	0
	Persona 2=0	0
	Persona 3=0	0
Puesto 2	Persona 1=0	0
	Persona 2=0	0
	Persona 3=1	1
Puesto 3	Persona 1=1	1
	Persona 2=0	0
	Persona 3=0	0
Puesto 4	Persona 1=0	0
	Persona 2=1	1
	Persona 3=0	0
Puesto 5	Persona 1=0	0
	Persona 2=0	0
	Persona 3=0	0

Tabla 3-10 Solución problema simple con Modelo 3 sin preferencias y $n < m$

Y el valor óptimo obtenido para la función objetivo es $f_3(x) = -84$.

En este caso tendríamos:

- Puesto 1: No ocupado.
- Puesto 2: Ocupado por la persona 3, la cuál es la persona con más cursos y solo 5% menos de experiencia que la persona con más experiencia.
- Puesto 3: Asignado a la persona 1, la cual es la segunda persona con más cursos (sólo uno menos que la persona 3) y la segunda persona con más experiencia (solo 3,7% menos que la persona con más experiencia) para este puesto.
- Puesto 4: Asignado a la persona 2, la cuál es la persona con más cursos (junto con la persona 3) y la persona con más experiencia en este puesto.
- Puesto 5: No ocupado.

Se observa que los puestos 1 y 5 no fueron asignados a nadie. Además, las soluciones de los ejemplos para el caso $n < m$ con prioridades (Tabla 3-9. Solución problema simple con Modelo 4 con preferencias y $n < m$) y sin prioridades (Tabla 3-10 Solución problema simple con Modelo 3 sin preferencias y $n < m$) son completamente distintos. Por lo que, se concluye que sí $n < m$ es importante definir cuáles son los puestos principales, usando el vector c y el Modelo 4, de manera de evitar asignaciones a cualquier puesto sin importar la prioridad de este.

4 RESULTADOS / VALIDACIÓN / PRUEBA

4.1 Parámetros para tener en cuenta

4.1.1 Introducción

Debido a que ya se ha demostrado que la solución que se ha desarrollado sirve para los casos que nos podemos encontrar, se lleva a otro nivel.

Consultando con el Comandante del Buque de Acción Marítima “Meteoro” (P-41), el buque que sale en la Figura 5. BAM Meteoro (P-41), se ha podido hacer un caso real con la dotación de su barco. Para ello, nos dio los siguientes datos:

- Personal de la dotación: Número de miembros, nombres (cambiados en este trabajo para la protección de datos personales), empleo, cuerpo y destino en el que estaban destinados.
- Situaciones operativas del buque: Zafarrancho de combate, fondeo, babor y estribor de guardia, etc.
- Puestos a ocupar en cada situación operativa.
- Requisitos a la hora de ocupar un puesto.

Dado que el problema, al tener más personas, cursos, puestos y situaciones distintas para resolver se vuelve muy complejo. Es por ello, que los parámetros deben de estar muy bien definidos.



Figura 5. BAM Meteoro (P-41)

En primer lugar, debemos tener en cuenta el personal con el que contamos. El personal disponible en el BAM “Meteoro” viene dado en la Tabla 4-1. La columna 2 de dicha tabla muestra el índice asociado a cada persona.

ESCALA	<i>i</i>	EMPLEO	NOMBRE Y APELLIDOS
OFICIALES (9)	1	CC	CARLOS RODRÍGUEZ PALMA
	2	TN	FRANCISCO JAVIER RUÍZ SÁNCHEZ
	3	TN	MIGUEL LONDRA MARTÍNEZ
	4	AN	SANTIAGO NAVARRO ÁLVAREZ
	5	TN	MARINO GANDARILLAS BONMATÍ
	6	TTE	IRENE LANASPA ABAD
	7	AN	JULIO CURT SANZ
	8	TTE	FELIPE ESCÁMEZ RUÍZ
	9	AN	GUILLERMO BATLLES GONZÁLEZ
SUBOFICIALES (8)	10	SG1	RICHARD MUNIAN BAKAIKOA
	11	SG1	ROBERTO YVAÑEZ SUAREZ
	12	SGTO	RAUL LÓPEZ OLMOS
	13	SGTO	TOBÍAS SAN MARTÍN PAZ
	14	SG1	ROBERTO LUCENA GIL
	15	SG1	JAVIER GALLEGU FERNÁNDEZ
	16	SGTO	LUIS GÓMEZ GARCÍA
	17	SGTO	ARTURO JIMENEZ PUENTE
MARINERÍA (20)	18	C1	ALEJANDRO TUDANCA ZAMORA
	19	C1	PEDRO BALTASAR PERALTA COZAR
	20	C1	HÉCTOR TORRENTE PALMA
	21	C1	JOSE JULIO OJEDA MORA
	22	CBO	DAILO RODRIGUEZ GONZÁLEZ
	23	MRO	INMACULADA CONCEPCION GIL GOMEZ
	24	CBO	SAULO EDUARDO VARGA LOPEZ
	25	CBO	KIMBERLY STEFANIA SANTOS MARTINEZ
	26	CBO	JUAN CARLOS CUESTA RUIZ
	27	MRO	LUIS PEREZ LOPEZ
	28	MRO	HÉCTOR RAMOS MARTINEZ
	29	MRO	IVONN FERNANDA CUADRADO NAVAS
	30	MRO	RAFAEL DOMINGUEZ GOMEZ
	31	MRO	CARLA NUÑEZ GONZALEZ
	32	MRO	JULIÁN SERRANO CANTERA
	33	MRO	ANDRES FELIPE ANTON MORENO
	34	MRO	JOSE MANUEL ARMADA MALAGON
	35	MRO	ALBERTO JOSE PEÑA GONZALEZ
	36	MRO	MARIO GARAY DARRIBA
	37	MRO	JUAN SUAREZ RUIZ

Tabla 4-1. Personal BAM "Meteoro" P-41

Todos los nombres y apellidos del personal reflejado en la Tabla 4-1. Personal BAM "Meteoro" P-41 son totalmente inventados, solo se ha dejado el mismo número de personas y los mismos empleos, es decir, si hay 3 TN, se dejan 3 TN. Cualquier parecido con la realidad es pura coincidencia. Esto se ha hecho para proteger la identidad y privacidad de los miembros de la dotación.

4.1.2 Matriz persona-cursos

Para tener en cuenta la formación de cada miembro de la dotación a la hora de asignarle un puesto en el Plan de Combate, los parámetros con los que definiremos a cada persona son:

- Escala y empleo: Solo indicaremos los empleos de los miembros de la dotación de un Buque de Acción Marítima [9]. Ordenados de mayor a menor rango son:
 - Oficiales:
 - Capitán de Corbeta (CC): Es el mayor rango con el que se puede embarcar en este buque y solo el comandante del buque tiene este empleo. Los que ostentan este empleo tienen una experiencia de sobre 14 años como oficial y han tenido que hacer un curso de ascenso a comandante antes de poder tener este empleo. Es equivalente al empleo de comandante en el resto de los ejércitos [1].
 - Teniente de Navío (TN): Es el equivalente a capitán en el resto de ejércitos. Los que ostentan este empleo tienen un mínimo de 4 años de antigüedad y han tenido que hacer una especialidad.
 - Alférez de Navío (AN) o Teniente (TTE): Es el empleo de menor rango dentro de la escala de oficiales. Todos, salvo el Teniente del Cuerpo Militar de Sanidad (CMS) y dos Alféreces de Navío, todos tienen un mínimo de 2 años de antigüedad. Los alféreces de navío no tienen ninguna especialidad.
 - Suboficiales: Tienen una especialidad en cuanto salen de sus centros de formación.
 - Sargento primero (SG1): Este empleo requiere un mínimo de 4 años de antigüedad como suboficial.
 - Sargento (SGO): Este empleo es con el que sales del centro de formación de suboficiales.
 - Marinería: Al igual que los suboficiales, ya tienen una especialidad al salir de los centros de formación.
 - Cabo Primero (C1): A pesar de pertenecer a marinería, tienen consideración de suboficiales debido a su gran experiencia. Suelen ser los miembros más especializados y con más experiencia de las dotaciones, pues deben de haber hecho un curso de ascenso de marinero a cabo, y después de haber hecho una servidumbre como cabo, ascender a cabo primero por concurso [1].
 - Cabo (CBO): Son miembros de marinería con bastante experiencia y especializados. Tienen que haber servido como marineros y hacer un ascenso por elección a cabos [1].
 - Marinero (MRO): Ocupan los puestos de menor responsabilidad debido a que son los miembros con menor formación y experiencia. Sin embargo, deben estar en buena forma física y mental, y estar preparados para trabajar en equipo en situaciones difíciles y potencialmente peligrosas. La formación y la capacitación son cruciales para los marineros de la Armada, y a menudo se les brinda una amplia capacitación en temas como seguridad, navegación, manejo de armas, primeros auxilios, y otras habilidades esenciales para la vida en el mar.

- Cuerpo y especialidad:
 - Oficiales:
 - Cuerpo General de la Armada: Las especialidades de oficiales son [10]:
 - Tecnologías de Comunicación e Información (TCI): Son los encargados de coordinar, mantener y asegurar las comunicaciones dentro del buque. Son especialistas en las tecnologías de la comunicación de las unidades de la Armada.
 - Submarinos (S): Son los oficiales que han recibido la formación necesaria para poder embarcar en un submarino de la Armada. En esta formación se incluye conocer las capacidades y límites de los submarinos de la Armada, sensores, procedimientos de seguridad y de rescate.
 - Piloto Aeronaval (AVP): Son los oficiales de la Armada encargados de pilotar y comandar las aeronaves orgánicas de la Armada. La formación de estos oficiales está especializada en función de la aeronave en la que vayan a embarcar, es decir, la escuadrilla donde estén destinados.
 - Mantenimiento de Aeronaves (AVM): Son los oficiales encargados del mantenimiento y renovación de las aeronaves orgánicas de la Armada.
 - Buzo (TBZ): Son los oficiales especializados en las tecnologías del buceo. Entre su formación se incluye medicina hiperbárica, conservación del patrimonio submarino español, uso de detectores de minas, desactivación y neutralización de minas.
 - Fuerza de Guerra Naval Especial (FGNE): Son los oficiales que sirven como mandos en las unidades de operaciones especiales de la Armada. Reciben una formación muy dura, exigente y heterogénea. Deben de pasar un curso de 9 meses en la Academia militar de montaña en Jaca (Huesca), además de un curso de paracaidismo y buceo de combate.
 - Hidrografía (H): Son los oficiales que se forman para servir en el Instituto Hidrográfico de la Marina para poder redactar cartas náuticas y otras muchas misiones de las que se encargue el Instituto Hidrográfico de la Armada.
 - Sistemas de Combate (SC): Esta es la especialidad que reciben los oficiales que quieren ser Jefes de Operaciones (JOPS) en los buques de la Armada. Su formación consiste en saber todo sobre la doctrina y procedimientos tácticos de las unidades de la Armada y de los sensores y armas que tienen todas las unidades de la Armada.
 - Estudios Superiores (ES): Esta especialidad la hacen los oficiales de la Armada que quieren servir en el Real Observatorio de la Armada. Esta formación consiste en hacer un doble grado de física y matemáticas.
 - Control de Plataforma (CP): Los oficiales que realizan esta especialidad se convierten en expertos de todos los sistemas de energía y propulsión de la Armada.

- Cuerpo de Intendencia de la Armada: En el cuerpo de Intendencia solo hay oficiales y solo existe la especialidad de Intendente. Estos reciben una formación de dos años en la Escuela Naval Militar, ingresando a esta con un grado universitario previo. Los intendentes son los encargados de administrar y justificar el uso de los recursos económicos de la Armada.
 - Cuerpos Comunes de las FAS: En el BAM “Meteoro” (P-41) solo pueden servir oficiales con la especialidad de enfermería. Estos oficiales reciben una formación de un año en la Academia Central de la Defensa, habiendo estudiado un grado de enfermería previamente.
- Suboficiales: En el BAM “Meteoro” (P-41) solo sirven suboficiales del Cuerpo General de la Armada. Estas especialidades las estudian ya en sus escuelas de formación antes de tener el empleo de sargentos [11]. Sus especialidades son:
- Administración (ADS): Son los encargados de la gestión administrativa, incluyendo contabilidad y uso de los recursos.
 - Alojamiento y restauración (APS): Son los militares que se encargan de la hostelería, alimentación y habitabilidad en todas las unidades y bases de la Armada. Se encargan de que todos los miembros de la dotación tengan un sitio de descanso y que se alimenten de forma correcta.
 - Armas: Artillería y misiles (ARES): Los que tienen esta especialidad se dedican al mantenimiento y operación de armamento, munición, explosivos y sistemas de lanzamiento de artillería y misiles de las unidades de la Armada.
 - Armas: Armas submarinas (ASES): Al igual que la especialidad anterior, pero de armas submarinas.
 - Comunicaciones y Sistemas de Información (TCIS): Se encargan del mantenimiento y uso de los sistemas de comunicación e información de las unidades de la Armada, incluyendo los equipos de Guerra Electrónica.
 - Energía y Propulsión: Mecánica (MQES): Son los encargados del mantenimiento y reparación de los equipos de propulsión, equipos de control y sus sistemas.
 - Energía y Propulsión: Electricidad (ELES): Son los encargados del mantenimiento y reparación de las plantas eléctricas de los buques.
 - Maniobra y Navegación (MNS): Encargados del uso y mantenimiento de los equipos de navegación, señalización, maniobra, medios de salvamento y embarcaciones. Los suboficiales encargados de las maniobras del buque también son conocidos como contramaestres.
 - Sistemas: Guerra Electrónica (GES): Encargados del uso, mantenimiento de equipos y sistemas de detección, procesamiento, distribución y presentación de datos tácticos de guerra electrónica.
 - Sistemas: Sistemas tácticos (STES): Encargados del uso, mantenimiento de equipos y sistemas de detección, procesamiento, distribución y presentación de datos tácticos.
 - Sistemas: Sónar (SNES): Encargados del uso, mantenimiento de equipos y sistemas de detección, procesamiento, distribución y presentación de datos tácticos del sónar.
 - Sistemas: Dirección de Tiro (DTES): Encargados del uso, mantenimiento de equipos y sistemas de detección, procesamiento, distribución y presentación de datos tácticos de la dirección de tiro.

- Hidrografía (HIES): Son los suboficiales que se forman para servir en el Instituto Hidrográfico de la Marina para poder redactar cartas náuticas y otras muchas misiones de las que se encargue el Instituto Hidrográfico de la Armada.
 - Buzo (BZES): Son los suboficiales especializados en las tecnologías del buceo. Entre su formación se incluye medicina hiperbárica, conservación del patrimonio submarino español, uso de detectores de minas, desactivación y neutralización de minas.
 - Guerra Naval Especial (FGNE): Son los suboficiales que sirven como mandos en las unidades de operaciones especiales de la Armada. Reciben una formación muy dura, exigente y heterogénea. Deben de pasar un curso de 9 meses en la Academia militar de montaña en Jaca (Huesca), además de un curso de paracaidismo y buceo de combate.
 - Piloto Naval (AVP): Son los suboficiales de la Armada encargados de pilotar y comandar las aeronaves orgánicas de la Armada. Los suboficiales no pueden pilotar todas las aeronaves orgánicas de la Armada.
- Marinería: Al igual que los suboficiales, también se forman en su especialidad antes de tener el empleo de marinero [12]. Las especialidades son:
- Operaciones y sistemas (OSM): Son los encargados del uso y mantenimiento de los sistemas de las unidades de la Armada.
 - Energía y Propulsión (EPM): Encargados del uso y mantenimiento de los sistemas de propulsión, plantas eléctricas, equipos de control y sus sistemas.
 - Maniobra y Navegación (MNM): Encargados del uso y mantenimiento de los equipos de navegación, señalización, maniobra, medios de salvamento y embarcaciones.
 - Aprovisionamiento (APM): Encargados de la gestión y administración de los recursos de las unidades de la Armada.

Aparte de la especialidad y empleo, se debe de tener en cuenta los cursos y aptitudes de los miembros de la dotación [13]. Estos son:

- Seguridad Interior (SI): La Seguridad Interior tiene como objetivo permitir al buque continuar con su misión y/o regresar a puerto mientras que, mediante una respuesta flexible y escalonada, limita, controla y repara, dentro de sus recursos, los daños recibidos, sea cual sea su causa, en paz y en guerra, contribuyendo a maximizar su capacidad de supervivencia [14].

El éxito de la seguridad interior depende de disponer de personal bien adiestrado, tener los materiales preparados y disponibles, y tener planeadas respuestas a los escenarios más peligrosos. Es por ello, que es necesario y primordial, el formar al personal de la Armada en este aspecto.

Todo el personal de la Armada se forma en el Centro de Instrucción de Seguridad Interior (CISI) en la Escuela de Especialidades de la Armada "Antonio de Escaño" en Ferrol (A Coruña), y el CISI que hay en la Base Naval de Rota (Cádiz). Los cursos de SI que se dan en estos centros son:

- Aptitud de oficial: Solo lo pueden realizar oficiales y les da los conocimientos y aptitudes necesarias para poder ser jefes de trozo y oficiales de Seguridad Interior.
- Aptitud de suboficial: Solo lo pueden realizar los suboficiales y les da los conocimientos y aptitudes necesarias para poder ser jefes de trozo y de escena.

- Investigador de averías: Este curso da los conocimientos y aptitudes necesarias para poder ser el investigador de un trozo de SI del buque. El grupo de investigación (formado por el investigador y el ayudante de investigación) es el encargado de ser los primeros en ir a la incidencia para:
 - Si se puede, sofocar la incidencia.
 - En caso de que no sea posible, determinar el tipo de incidencia y controlarla lo máximo posible.
 - Una vez sean relevados por el equipo de contraincendios (o contraaverías), se darán rondas por los compartimentos adyacentes para comprobar si la avería se ha expandido a estos.
- Coordinador de averías: Este curso da los conocimientos y aptitudes necesarias para poder ser jefe del grupo contraincendios (o contraaverías). Este curso solo lo pueden hacer suboficiales y cabos primeros.
- FLOAN (Flotilla de Aeronaves): Esta ambientación da los conocimientos y aptitudes necesarias para pertenecer al personal del trozo de vuelo, que es el encargado de socorrer al personal y de solventar las averías que se produzcan en las aeronaves y en las cubiertas de vuelo de la Armada.
- CASI (Centro de Adiestramiento de Seguridad Interior): Esta ambientación da los conocimientos y aptitudes básicas de SI para embarcar en buque de la Armada.
- WECDIS: Es el dispositivo donde se representa y se trabaja sobre las cartas náuticas. Para este dispositivo hay dos cursos:
 - Uso de Wecdis: Este curso da los conocimientos y aptitudes necesarias para usar este dispositivo. Es decir, saber todas las funciones y usos que se le puede dar.
 - Operador de Wecdis: Este curso, aparte de los conocimientos del curso anterior, da la capacidad de poder mantener, reparar y actualizar el software de estos dispositivos. Este curso solo lo pueden hacer oficiales y suboficiales.
- SICP BAM (Sistema Integrado de Control de la Plataforma de los Buques de Acción Marítima): Consiste en un sistema que integra todos los sensores, dispositivos y sistemas relacionados con el control de plataforma del buque en una red de ordenadores para que estos estén sincronizados. Este curso da los conocimientos necesarios para administrar este sistema. Este curso solo lo pueden realizar oficiales [15].
- GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System): Este es el sistema mundial de socorro en la mar, el cual permite, de una manera rápida y fiable, poner en marcha mecanismos de búsqueda y salvamento tanto por parte de los medios en tierra como de otros barcos próximos. El personal que hace este curso es capaz de configurar este sistema a bordo y de usarlo conforme a la normativa vigente [13].
- CHM (Controlador de Helicópteros en la Mar): Este curso da los conocimientos y aptitudes necesarias para poder controlar los helicópteros una vez están en el aire. Son los encargados de dirigir al helicóptero para que cumpla con la normativa de seguridad y navegación de la RCAO (Reglamento de Circulación Aérea Operativa) [16], además de cumplir con la misión que se le asigne a la aeronave. Este curso solo lo pueden cursar oficiales y suboficiales.
- Link 11: Es un sistema que comparten todos los buques y aeronaves de la OTAN (Organización del Tratado Atlántico Norte) para compartir información táctica entre unidades. Esto permite un mayor alcance para nuestra unidad y con ello tener un mejor conocimiento de la situación táctica de nuestro entorno [17].
El curso de Link 11 da los conocimientos y aptitudes necesarias para poder configurar, mantener y reparar los equipos y sistemas auxiliares que permiten que funcione el Link 11.
- Link Pro: El Link Pro tiene las mismas funciones que el Link 11, pero es una versión más moderna. El curso da los mismos conocimientos y aptitudes que el del Link 11, solo que para el Link Pro.

- SCOMBA (Sistemas de Combate de la Armada): Es un programa cuyo objetivo es desarrollar un Sistema de Combate que sirva de núcleo común para los buques [18]:
 - LHD “Juan Carlos I” (L-61)
 - BAC “Cantabria” (A-15)
 - Patrulleros BAM
 - Fragatas F-110
 - Submarinos S-80

Este curso da los conocimientos y aptitudes necesarios para poder usar, configurar, mantener y reparar el software y hardware de este programa.

- MHS (Message Handling System): Este sistema es el que gestiona la mensajería de SACOMAR (Sistema Automático de Conmutación de Mensajería de la Armada), el cuál es el sistema de mensajería usado para pasar documentos clasificados entre unidades de la flota y sus mandos en tierra [15]. El personal que hace este curso adquiere los conocimientos y aptitudes necesarias para gestionar este sistema de comunicación. Solo pueden cursar este curso suboficiales.
- Automatismo industrial: Este curso da los conocimientos y aptitudes necesarias para saber configurar, mantener y reparar los sistemas autómatas embarcados [13].
- Giros MK27 Y Sperry MK-39: Este curso da los conocimientos y aptitudes necesarias para el mantenimiento y reparación del sistema de control de tiro MK27 y de la giroscópica MK-39 de la compañía Sperry Marine [15].
- Correderas Doppler DL850 y electromagnética: Las correderas son los dispositivos encargados de medir la velocidad sobre fondo y de superficie del buque. Las correderas Doppler funcionan gracias al efecto Doppler. Este efecto es capaz de medir la velocidad de un objeto mediante el desfase de la onda recibida. Las correderas electromagnéticas generan una pequeña corriente alterna en el transductor usando el agua del mar como conductor. Cuanta mayor cantidad de agua pase, mayor tensión se genera. La señal del voltaje es detectada por el sensor y enviada a la unidad electrónica maestra, donde es amplificada y procesada [19]. Este curso da los conocimientos y aptitudes necesarias para poder mantener y reparar estas correderas.
- Sistemas de propulsión eléctrica Siemens: Este curso daba los conocimientos y aptitudes necesarias para poder mantener y reparar los sistemas de propulsión eléctrica Siemens. Este curso ya no se da en la Armada [13], por lo que el personal que tiene este curso es muy escaso.
- Motores: Aunque ya no se imparten [13], existe personal con el curso de los motores:
 - MTU 1163: Es un motor de propulsión diésel intraborda de 16 cilindros para embarcaciones de recreo o profesionales. Su potencia está entre los 6-9 CV dependiendo del modelo.
 - MTU 2000: Es un motor diésel compacto para la producción de electricidad. Suele ser usado como unidad de producción eléctrica de emergencia. Su potencia está entre los 680-1270 kW.
 - MTU S60: Es un motor de propulsión diésel intraborda para embarcaciones de recreo o profesionales.

Este curso da las aptitudes y los conocimientos necesarios para poder mantener y reparar estos motores.

- Planta TAR (Tratamientos de Aguas Residuales): Es una unidad de tratamiento fisicoquímico con un funcionamiento seguro y fácil. La unidad procesa aguas negras (residuos humanos) o aguas grises (lavabos, duchas, drenajes, etc.) [20]. El personal que realiza este curso conoce a la perfección el funcionamiento de las plantas TAR, su mantenimiento, reparaciones, fallos más frecuentes y la normativa para su uso.

- Frigorista: Este curso da los conocimientos necesarios para saber cómo funcionan, cómo reparar y cómo mantener todos los sistemas de frío de los buques de la Armada, desde las cámaras frigoríficas de los alimentos hasta los sistemas de refrigeración de los equipos de radio [15]. Este curso solo lo pueden cursar suboficiales y cabos primeros.
- Helo Control Officer (HCO): El HCO es el oficial que controla al helicóptero para el lanzamiento y la toma en la cubierta de vuelo del buque [15]. También es el jefe del trozo de vuelo de seguridad interior, el cual está preparado para coordinar al personal del trozo en caso de ocurra un incidencia en la aeronave [14]. Este puesto lo suelen ocupar los intendentes de los buques.
- Patrón de aeronaves o supervisor seguridad de cubierta de vuelo: El personal que ha realizado este curso tiene los conocimientos y aptitudes necesarias para dar las indicaciones y recomendaciones necesarias al trozo de vuelo de SI a la hora de recibir una aeronave en la cubierta de vuelo. Este curso solo lo pueden hacer los suboficiales.
- LSE: Es el encargado de dirigir al personal que coloca y quita las trincas y los calzos de las aeronaves, y también da las señales al helicóptero para encender turbinas, embragar, que le han quitado calzos y trincas, que puede despegar, etc. Este curso solo lo puede realizar personal de marinería [15].
- Patrón de embarcaciones: Este curso da la aptitud para patronear una RHIB. Solo lo pueden hacer cabos primeros y cabos [15].
- Curso TAO: Este curso da la aptitud de TAO (Tactical Action Officer) que es el oficial encargado de la Acción Táctica durante la vigilancia para enfrentar las amenazas (superficie, submarina, aérea o asimétrica) con todos los medios disponibles (armamento). Es el oficial que dirige el CIC, toma las decisiones de qué acciones tácticas va a tomar el buque (bajo el veto del Sr. Comandante) y coordina la acción conjunta de la fuerza con los otros TAOs [15].
- OTO MELARA (Operación y mantenimiento): El OTO MELARA es el montaje de las fragatas de la clase F-80 y los patrulleros de la clase BAM [21]. Este curso da los conocimientos necesarios para conocer el funcionamiento, mantenimiento, uso y reparaciones de todos los sistemas que usa este cañón.
- MK-38 (Operación y mantenimiento): El MK-38 es una ametralladora de 25mm que montan los BAM, al igual que otros barcos de la Armada. Esta ametralladora incorpora un sistema de control electroóptico con capacidad de adquisición de blancos bajo cualquier condición meteorológica. Además, este sistema se controla desde el CIC, lo que proporciona una defensa de última capa y se puede usar para hacer “tiro de intimidación” [15]. Este curso da los conocimientos necesarios para conocer el funcionamiento, mantenimiento, uso y reparaciones de todos los sistemas que usa esta ametralladora.
- DORNA: Este curso da la aptitud de uso, funcionamiento, mantenimiento y reparaciones de la dirección de tiro DORNA. En el caso de los BAM, DORNA II.
- Operador EW: Este curso da los conocimientos y aptitudes necesarias para usar, mantener y reparar los sistemas de guerra electrónica del buque.
- Sanitario: Este curso da la aptitud de auxiliar de enfermería, capaz de ayudar y asistir al personal del servicio de sanidad de los buques en todas las situaciones posibles que se puedan dar a bordo [15]. A este curso solo pueden acceder cabos primeros y cabos.
- NASAR: Este curso da la aptitud de nadador de rescate, el cual está preparado para poder socorrer y salvar a las personas que se encuentren en la mar bajo las condiciones más extremas [15]. Este curso solo puede hacer personal de marinería, es decir, cabos primeros, cabos y marineros.

Además, están los puestos de responsabilidad, que se ofertan como destinos, y ya son asignados antes de incorporarse a la dotación [15]. Estos son:

- Comandante (CO): Es el máximo responsable de la operación, mantenimiento y disciplina del buque. Entre sus funciones están:
 - Liderazgo: El comandante es el mayor mando del buque y es responsable de la convivencia y que se mantenga el orden en el buque. También es responsable de la instrucción, adiestramiento de la dotación y del cumplimiento de la misión asignada.
 - Operaciones del buque: El comandante es el máximo responsable de la derrota, maniobras y operaciones del buque. Se asegura que el buque cumpla con las normas de navegación y seguridad en la mar.
 - Mantenimiento del buque: El comandante es responsable de que el buque esté lo mejor mantenido posible. Supervisa todas las reparaciones, mejoras y operaciones de mantenimiento del buque a diario.
 - Planificación de la misión: El comandante es quien toma la decisión de cómo llevar a cabo la misión del buque. Este se coordina con sus mandos y con las otras unidades con las que colabora en estas misiones.
 - Relaciones públicas y diplomacia: El comandante es el mayor representante del buque. Esto hace que cuando se encuentre en un puerto extranjero, es el responsable de mantener buenas relaciones con los líderes del país donde se encuentran.
 - Seguridad: El comandante es el máximo responsable de la seguridad física, interna e interior del buque.

En resumen, el comandante de un buque de guerra tiene la máxima responsabilidad de liderar, operar y mantener el buque, así como de planificar y ejecutar misiones que realice.

- Segundo Comandante (XO): El segundo comandante es el que ocupará el puesto de comandante cuando este no se encuentre disponible, lo apoyará y aconsejará al Sr. Comandante, siempre que este lo considere necesario, y es, además, el jefe de personal de la dotación. Acompaña al Sr. Comandante en todas sus funciones y se encarga de organizar al personal. Esto incluye: asignar puestos, gestiona permisos, tramita comisiones, organiza las guardias, etc.
- Jefe de Operaciones (JOPS): Es el oficial responsable del Servicio de Sistemas de Combate (SC), es el responsable del mantenimiento y reparación del material y aconsejará al Sr. Comandante sobre cómo realizar las operaciones asignadas al buque.
- Jefe de Máquinas (JMAQS): Es el oficial responsable del destino de Energía y propulsión (EP), lo que implica el mantenimiento y reparación del material, Además, aconsejará al Sr. Comandante sobre cómo usar y mantener los sistemas de propulsión, plantas eléctricas y sistemas auxiliares del buque.
- Oficial Ayudante de Derrota (OAD): Es el oficial jefe del Servicio de Control del Buque y aconseja al Sr. Comandante en cuál debe ser la derrota del buque. Se suele centrar en diseñar las entradas y salidas de puerto y navegación en aguas restringidas.

4.1.3 Matriz persona-experiencia:

Debido a la dificultad de medir de una forma exacta la experiencia de una persona sirviendo en la Armada, se ha usado de unidad de medida los meses que han pasado en un destino [15]. Estos destinos son:

- Sistemas de combate (SC): Este destino tiene la responsabilidad del mantenimiento y uso de todos los equipos y sistemas tácticos de la unidad. Estos sistemas son:
 - Radio: Son todos los equipos que permite tener comunicaciones a bordo del buque. Estas tienen que estar bajo control en todo momento y su configuración cambiarán en función de la situación táctica del buque y de la misión que esté realizando.
 - Radares: Son todos los sensores que permiten tener una situación aérea y de superficie a los alrededores de nuestros buques. Estos equipos sirven para localizar, clasificar e identificar todos los contactos que tengamos a nuestro alrededor.
 - Direcciones de tiro: Son los sistemas que nos permiten designar a los objetivos que queremos enfrentar. Estos sistemas se encargan de adquirir los contactos y de hacer el cálculo del tiro para compensar la deriva, viento, movimiento del buque, etc.
 - Artillería y municiones: Son toda la munición y mecanismos de tiro del buque. En el caso del BAM “Meteoro” (P-41), comprenden:
 - Cañón Oto Melara 76/62: Montaje especialmente apto para la autodefensa contra aviones rápidos atacando a baja o media altura, o en picado y contra blancos de superficie pequeños y rápidos. Es completamente automático y remoto. Con el montaje completamente municionado se pueden efectuar 80 disparos sin intervención de cargadores. El funcionamiento del montaje es esencialmente eléctrico con algunos pasos de control electrónico. Los servomecanismos de orientación y elevación son eléctricos y el sistema de alimentación y carga es hidráulico.
 - 2 ametralladoras 25mm: Montadas en un sistema “Sentinel” que es una estación de armas estabilizada giroscópicamente en dos ejes, controlado de manera remota que puede ser operado tanto de día como de noche.
 - Armamento portátil: Son los Browning y Minimi, utilizados en todas las FAS.
 - Equipos de guerra electrónica: En el caso de los BAM, se tienen equipos pasivos ESM que reciben los emisores y se puede guardar la paramétrica, así como comparar con los datos de la librería. Referente a la protección, cada sensor tiene los propios.
- Energía y propulsión (EP): Este servicio tiene la responsabilidad del mantenimiento, reparación y uso del sistema de propulsión, planta eléctrica del barco y todos sus sistemas auxiliares.
- Aprovisionamiento (AP): Este servicio tiene la responsabilidad de hospedar y alimentar a todas las personas que se encuentren a bordo del buque cuando está navegando. También se encargan de la gestión administrativa y económica del buque.
- Control de plataforma (CP): Este servicio se encarga del mantenimiento y uso de todo el material de maniobra y navegación. Esto comprende desde los equipos de puente, pasando por las cartas náuticas, hasta los cabos usados en las maniobras.
- Sanidad (SAN): Este servicio se encarga del mantenimiento y uso de los equipos médicos a bordo, de dar tratamientos médicos de estabilización, de las fichas médicas y del control de bajas. En el caso del BAM “Meteoro” (P-41), solo están destinados el teniente CMS y un marinero con el curso de sanitario.

Para esta matriz de experiencia, también se tiene en cuenta si los han pasado como marinero, cabo, cabo primero, suboficial u oficial a la hora de asignar un puesto u otro.

4.2 Matriz persona-curso-puesto:

Para la creación de la matriz persona-curso-puesto se determinan unos requisitos para cada puesto. Una vez determinados estos requisitos, se puede saber cuántos de estos cumple cada miembro de la dotación para cada puesto. En el caso de navegación a dos vigilancias se tiene que:

- Nombre del puesto: Cada puesto tiene un nombre que lo define, el cual se encuentra reflejado en la Tabla 4-2. Nombres puestos navegación a dos vigilancias
- .

Nombre	Definición
CO	Comandante
XO	Segundo Comandante
JOPS	Jefe de Operaciones (TAO 1ª vigilancia)
JMAQS	Jefe de Máquinas (TAO 2ª vigilancia)
ENFERMERA	Enfermera
GUARDIA INTERIOR	Jefe de la Guardia de Interior
OGP 1 VIG	Oficial de guardia en puente de la primera vigilancia
OGP 2 VIG	Oficial de guardia en puente de la segunda vigilancia
SUP CIC 1 VIG	Supervisor de CIC de la primera vigilancia
SUP CIC 2 VIG	Supervisor de CIC de la segunda vigilancia
CONTRAMESTRE	Contramaestre o supervisor de maniobra
PeSUP PUENTE 1 VIG	Supervisor de puente de la primera vigilancia
SUP PUENTE 2 VIG	Supervisor de puente de la segunda vigilancia
RADIO 1	Personal encargado de las comunicaciones del buque de la primera vigilancia
RADIO 2	Personal encargado de las comunicaciones del buque de la segunda vigilancia
CCC 1 VIG	Cámara de control central de la primera vigilancia
CCC 2 VIG	Cámara de control central de la segunda vigilancia
SUPERVISOR GUARDIA INTERIOR - COCINA - APROV	Supervisor de la guardia de interior, cocina y aprovisionamiento
COCINA	Personal destinado en la cocina
COCINA / SANITARIO	Personal destinado en la cocina y auxiliar de enfermería
PANADERA	Panadera
COCINA	Personal destinado en la cocina
GII 1 VIG	Grupo de intervención inmediata de la primera vigilancia

GII 1 VIG	Grupo de intervención inmediata de la primera vigilancia
GII 2 VIG	Grupo de intervención inmediata de la segunda vigilancia
GII 2 VIG	Grupo de intervención inmediata de la segunda vigilancia
RONDA 1 VIG	Encargado de hacer la ronda de máquinas de la primera vigilancia
RONDA 1 VIG	Encargado de hacer la ronda de máquinas de la primera vigilancia
RONDA 2 VIG	Encargado de hacer la ronda de máquinas de la segunda vigilancia
RONDA 2 VIG	Encargado de hacer la ronda de máquinas de la segunda vigilancia
PUENTE 1	Personal destinado en puente encargado de la caña y de la crónica de la primera vigilancia
PUENTE 2	Personal destinado en puente encargado de la caña y de la crónica de la segunda vigilancia
CIC 1 VIG	Personal destinado en el CIC de la primera vigilancia
CIC 2 VIG	Personal destinado en el CIC de la segunda vigilancia
NASAR	Nadador de salvamento

Tabla 4-2. Nombres puestos navegación a dos vigilancias

MODELO LINEAL PARA LA ASIGNACIÓN DE PERSONAL
EN EL PLAN DE COMBATE DE UN BUQUE

2 VIGILANCIAS				
NÚMERO DE PUESTO	PUESTO	REQUISITOS NECESARIOS	NÚMERO REQUISITOS	AÑOS DE EXPERIENCIA NECESARIOS
j=1	CO	CO	1	10 OF
j=2	XO	XO	1	8 OF
j=3	JOPS	JOPS	1	4 OF SC
j=4	JMAQS	JMAQS	1	4 OF EP
j=5	ENFERMERA	SAN-EOF	1	0 OF SAN
j=6	GUARDIA INTERIOR	CINA-EOF	1	2 OF AP
j=7	OGP 1 VIG	CGA-EOF, SICP BAM, WECDIS	3	0 OF CB
j=8	OGP 2 VIG	CGA-EOF, SICP BAM, WECDIS	3	0 OF CB
j=9	SUP CIC 1 VIG	SG1, ARES, ASES, GES, STES, SNES, DTES, SCOMBA, LINK 11, LINK PRO, OPERADOR EW, CHM	12	2 SUB SC
j=10	SUP CIC 2 VIG	SG1, ARES, ASES, GES, STES, SNES, DTES, SCOMBA, LINK 11, LINK PRO, OPERADOR EW, CHM	12	2 SUB SC
j=11	CONTRAMESTRE	MNS-SUB	1	2 SUB CB
j=12	SUP PUENTE 1 VIG	MNS-SUB, WECDIS, OPERADOR WECDIS, GMDSS	4	2 SUB CB
j=13	SUP PUENTE 2 VIG	MNS-SUB, WECDIS, OPERADOR WECDIS, GMDSS	4	2 SUB CB
j=14	RADIO 1	TCIS-SUB, MHS	2	2 SUB SC
j=15	RADIO 2	TCIS-SUB, MHS	2	2 SUB SC
j=16	CCC 1 VIG	MQES, ELES, AUTOMATISMO INDUSTRIAL, SICP BAM, APTITUD SI SUB, GIROS MK-27 Y SPERRY MK-39, CORREDEDERAS DOPPLER, SISTEMAS DE PROPULSIÓN SIEMENS, MOTORES, PLANTA TAR, FRIGORISTA	13	2 SUB EP
j=17	CCC 2 VIG	MQES, ELES, AUTOMATISMO INDUSTRIAL, SICP BAM, APTITUD SI SUB, GIROS MK-27 Y SPERRY MK-39, CORREDEDERAS DOPPLER, SISTEMAS DE PROPULSIÓN SIEMENS, MOTORES, PLANTA TAR, FRIGORISTA	13	2 SUB EP
j=18	SUPERVISOR GUARDIA INTERIOR - COCINA - APROV	APS-SUB	1	2 SUB AP
j=19	COCINA	APM-MAR	1	0 MRO AP
j=20	COCINA / SANITARIO	APM-MAR, SANITARIO	2	0 MRO AP
j=21	PANADERA	APM-MAR	1	0 MRO AP
j=22	COCINA	APM-MAR	1	0 MRO AP
j=23	GII 1 VIG	EPM-MAR, INVESTIGADOR DE AVERÍAS, COORDINADOR DE AVERÍAS, FLOAN SI, CASI SI	5	2 MRO EP
j=24	GII 1 VIG	EPM-MAR, INVESTIGADOR DE AVERÍAS, COORDINADOR DE AVERÍAS, FLOAN SI, CASI SI	5	2 MRO EP
j=25	GII 2 VIG	EPM-MAR, INVESTIGADOR DE AVERÍAS, COORDINADOR DE AVERÍAS, FLOAN SI, CASI SI	5	2 MRO EP
j=26	GII 2 VIG	EPM-MAR, INVESTIGADOR DE AVERÍAS, COORDINADOR DE AVERÍAS, FLOAN SI, CASI SI	5	2 MRO EP
j=27	RONDA 1 VIG	EPM-MAR, MOTORES, PLANTA TAR, FRIGORISTA, SISTEMAS DE PROPULSIÓN SIEMENS	7	0 MRO EP
j=28	RONDA 1 VIG	EPM-MAR, MOTORES, PLANTA TAR, FRIGORISTA, SISTEMAS DE PROPULSIÓN SIEMENS	7	0 MRO EP
j=29	RONDA 2 VIG	EPM-MAR, MOTORES, PLANTA TAR, FRIGORISTA, SISTEMAS DE PROPULSIÓN SIEMENS	7	0 MRO EP
j=30	RONDA 2 VIG	EPM-MAR, MOTORES, PLANTA TAR, FRIGORISTA, SISTEMAS DE PROPULSIÓN SIEMENS	7	0 MRO EP
j=31	PUENTE 1	MNM-MAR	1	0 MRO CB
j=32	PUENTE 2	MNM-MAR	1	0 MRO CB
j=33	CIC 1 VIG	OSM-MAR	1	0 MRO SC
j=34	CIC 2 VIG	OSM-MAR	1	0 MRO SC
j=35	NASAR	CURSO NASAR	1	0 MRO

Tabla 4-3. Requisitos puestos navegación a dos vigilancias

En la Tabla 4-3 se puede observar que cada puesto está definido por:

- **Requisitos máximos:** Cada puesto tiene unas funciones y responsabilidades específicas. Para cumplir con estas funciones y responsabilidades de la mejor forma posible, se requiere que el personal que ocupe estos puestos tenga una formación específica para con este puesto. La formación que puede recibir el personal de la Armada ya está explicada en 4.1.2. Matriz persona-cursos, y los requisitos de los puestos en navegación a dos vigilancias ya están incluidos en la Tabla 4-3. Requisitos puestos navegación a dos vigilancias.

- Número de requisitos máximos: Estos requisitos hacen que cada puesto tenga unos requisitos máximos, es decir, el que ocupe ese puesto puede llegar a tener mayor formación que la necesaria para ese puesto, pero esta es innecesaria para este puesto. En el caso de que algún miembro del personal tenga una “puntuación” para un puesto mayor que los números de requisitos máximos para ese puesto, significará que la “puntuación de esta persona está mal. Estos números de requisitos máximos forman el vector k_j de requisitos máximos como en el Ejemplo de un problema de programación lineal sencillo. En este caso, el vector k_j será el indicado en la Tabla 4-3. Requisitos puestos navegación a dos vigilancias.

Con todos estos datos, se genera la matriz persona-curso-puesto, parecida a la Tabla 3-3 Matriz persona-curso-puesto del “Problema simple de plan de combate de un buque”. Para el caso de situación de navegación a dos vigilancias se creará una matriz de tamaño $37 * 35$.

4.3 Matriz persona-experiencia-puesto

Para la creación de la matriz persona-experiencia-puesto se determinan unos requisitos de experiencia mínima para cada puesto, dados en él, vector e . Estos requisitos ya están definidos para la situación de navegación a dos vigilancias en la Tabla 4-3. Requisitos puestos navegación a dos vigilancias.

En esta matriz, la unidad de medida usada para expresar la experiencia de cada miembro de dotación son los meses. Sin embargo, no todos cuentan lo mismo para todos los puestos. Estos meses contarán según:

- Empleo: La experiencia se separará según con qué rango se tenía durante este tiempo:
 - Oficial
 - Suboficial
 - Cabo primero
 - Cabo
 - Soldado
- Servicio: La experiencia se separará según el servicio donde se haya servido. Estos son:
 - Sistemas de Combate (SC)
 - Energía y propulsión (EP)
 - Control de Buque (CB)
 - Aprovisionamiento (AP)
 - Sanidad (SAN)

Por ejemplo, imaginemos el caso de un miembro de la dotación que:

-Comenzó su carrera militar como marinero EPM del servicio de energía y propulsión durante 36 meses.

-Ascendió a cabo EPM y volvió a estar en el servicio de energía y propulsión durante 24 meses.

-Ascendió por promoción interna a sargento APS y lleva 12 meses en el servicio de aprovisionamiento.

En este caso, tendrá:

-36 meses de experiencia como marinero EPM

-24 meses de experiencia como cabo EPM

-12 meses de experiencia como suboficial APS

Esto se puede traducir también como:

- 36 meses de experiencia como marinero
- 24 meses de experiencia como cabo
- 12 meses de experiencia como suboficial
- 60 meses de experiencia en el servicio de energía y propulsión
- 12 meses de experiencia en el servicio de aprovisionamiento
- 72 meses de experiencia total

En función del puesto, se tendrán en cuenta unos parámetros u otros de la experiencia de este miembro de la dotación. Además, se deben de poner ciertas restricciones a la hora de formar la matriz persona-puesto-experiencia. Estas son:

- Ningún miembro de la dotación tendrá un valor de 0 experiencia para un puesto: En caso de tener 0 experiencia para un puesto, este se cambiará por 1 como se ve en Tabla 4-4. Ejemplo matriz persona-puesto-experiencia. Esto evita que se den resultados negativos.

PUESTO (35)	CO	XO	JOPS	JMAQS
PERSONA (37)				
CARLOS RODRÍGUEZ PALMA	120	96	48	12
FRANCISCO JAVIER RUÍZ SÁNCHEZ	108	96	48	24
MIGUEL LONDRA MARTÍNEZ	96	96	48	1
SANTIAGO NAVARRO ÁLVAREZ	36	36	1	1
MARINO GANDARILLAS BONMATÍ	72	72	12	48
IRENE LANASPA ABAD	12	12	1	1
JULIO CURT SANZ	24	24	1	12
FELIPE ESCÁMEZ RUÍZ	36	36	1	1
GUILLERMO BATLLES GONZÁLEZ	24	24	12	1
RICHARD MUNIAN BAKAIKOA	1	1	1	1
ROBERTO YVAÑEZ SUAREZ	1	1	1	1
RAUL LÓPEZ OLMOS	1	1	1	1
TOBIÁS SAN MARTÍN PAZ	1	1	1	1

Tabla 4-4. Ejemplo matriz persona-puesto-experiencia

- Ningún miembro de la dotación tendrá un valor de experiencia mayor a la mínima deseada: Por ejemplo, si son necesarios 96 meses de oficial para ocupar el puesto de Segundo Comandante, y alguien tiene más de 96, le contará como 96 en la matriz. Esto evita que se den resultados negativos. Este caso lo podemos observar en la Tabla 4-4. Ejemplo matriz persona-puesto-experiencia con Carlos Rodríguez Palma y Francisco Javier Ruíz Sánchez marcado en rojo.
- En el caso que en un puesto no sea necesaria la experiencia previa, el personal con experiencia previa en este puesto tendrá una puntuación de 2 en la matriz persona-puesto-experiencia: Esto hace que el personal con experiencia previa en este puesto (con una puntuación de 2) tenga preferencia sobre el personal sin experiencia (con una puntuación de 1). Esto hace que en el vector e_j el valor mínimo sea 2.

Con todos estos requisitos y restricciones se crea la matriz persona-puesto-experiencia. En el caso que se está estudiando, el de navegación a dos vigilancias, se creará una matriz de tamaño 37x35 y un vector e_j con 35 valores.

4.4 Solución del problema:

4.4.1 Representación vector solución

Para la situación de dos vigilancias, hay 35 puestos. Es decir, $m = 35$. Todos estos puestos van numerados con un orden concreto, reflejado en la Tabla 4-3. Requisitos puestos navegación a dos vigilancias

Al igual que los puestos, las personas también van enumeradas, como se presenta en Tabla 4-2. Nombres puestos navegación a dos vigilancias Esta enumeración se mantendrá para cualquier situación porque el personal no va a cambiar. El número de personal es 37, por lo tanto, $n = 37$.

Esto se hace porque la solución siempre es un vector con $n * m$ valores. Este vector siempre lleva un orden concreto. Este orden comienza por el primer puesto y asigna este primer puesto a una de las 37 personas de la dotación, así hasta el último puesto con la última persona. Para comprender este concepto mejor, se representará de una forma gráfica en la Tabla 4-5. Representación solución.

Puesto	Persona	Vector solución
j=1	i=1	1
	.	.
	i=37	0
j=2	i=1	0
	.	.
	i=37	0
.	.	.
j=35	i=1	0
	.	.
	i=37	1

Tabla 4-5. Representación solución

4.4.2 Parámetros y restricciones vector solución

Esto crea un vector solución con $n * m$ valores. En el caso de la situación de navegación a dos vigilancias, se obtiene un vector con 1295 valores. Todos estos valores estarán entre 0 y 1, y la suma total de estos valores debe de ser $\min(n, m)$, es decir, tiene que ser igual al número de puestos o de personal en el caso de que haya más puestos que personas disponibles.

$$\sum_{i=1, j=1}^{n*m} x_{ij} = \min(n, m)$$

La suma de los valores del vector por puesto debe de ser 0 (ese puesto no ha sido asignado) o 1(ese puesto ha sido asignado). Si hay algún resultado distinto a estos, el problema está mal y debemos de revisar los datos introducidos en el programa de Matlab o si hemos escrito mal el código.

$$\sum_{i=1}^n x_{i1} = 1; \text{ puesto asignado}$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i1} = 0; \text{ puesto no asignado}$$

Se debe de asegurar que tampoco se asignen más de 1 puesto a ninguna persona. Es por ello por lo que se debe de cumplir que:

$$\sum_{j=1}^m x_{1j} = 1; \text{ persona asignada a un puesto}$$

$$\sum_{j=1}^m x_{1j} = 0; \text{ persona sin puesto asignado}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{i1} \neq [0,1]; \text{ ERROR}$$

En el caso de navegación a dos vigilancias tenemos que:

$$\sum_{i=1; j=1}^{n*m} x_{ij} = 35$$

4.4.3 Solución navegación a dos vigilancias

Teniendo en cuenta los 56 se resuelve el problema de plan de combate óptimo para este buque (Modelo 4) y se obtiene la Tabla 4-6. Solución situación navegación a dos vigilancias, la cual se muestra en la Tabla 4-6. Solución situación navegación a dos vigilancias.

1	CO	CARLOS RODRÍGUEZ PALMA
2	XO	FRANCISCO JAVIER RUÍZ SÁNCHEZ
3	JOPS	MIGUEL LONDRA MARTÍNEZ
4	JMAQS	MARINO GANDARILLAS BONMATÍ
5	ENFERMERA	IRENE LANASPA ABAD
6	GUARDIA INTERIOR	FELIPE ESCÁMEZ RUÍZ
7	OGP 1 VIG	GUILLERMO BATLLES GONZÁLEZ
8	OGP 2 VIG	JULIO CURT SANZ
9	SUP CIC 1 VIG	RICHARD MUNIAN BAKAIKO
10	SUP CIC 2 VIG	ROBERTO YVAÑEZ SUAREZ
11	CONTRAMESTRE	PEDRO BALTASAR PERALTA COZAR
12	SUP PUENTE 1 VIG	TOBÍAS SAN MARTÍN PAZ
13	SUP PUENTE 2 VIG	RAUL LÓPEZ OLMOS
14	RADIO 1	SANTIAGO NAVARRO ÁLVAREZ
15	RADIO 2	ROBERTO LUCENA GIL
16	CCC 1 VIG	JAVIER GALLEGU FERNÁNDEZ
17	CCC 2 VIG	LUIS GÓMEZ GARCÍA
18	SUPERVISOR GUARDIA INTERIOR - COCINA - APROV	ARTURO JIMENEZ PUENTE
19	COCINA	ALBERTO JOSE PEÑA GONZALEZ
20	COCINA / SANITARIO	RAFAEL DOMINGUEZ GOMEZ
21	PANADERA	JOSE JULIO OJEDA MORA
22	COCINA	IVONN FERNANDA CUADRADO NAVAS
23	GII 1 VIG	HÉCTOR TORRENTE PALMA
24	GII 1 VIG	HÉCTOR RAMOS MARTINEZ
25	GII 2 VIG	JOSE MANUEL ARMADA MALAGON
26	GII 2 VIG	INMACULADA CONCEPCIÓN GIL GÓMEZ
27	RONDA 1 VIG	MARIO GARAY DARRIBA
28	RONDA 1 VIG	ANDRES FELIPE ANTON MORENO
29	RONDA 2 VIG	JULIÁN SERRANO CANTERA
30	RONDA 2 VIG	LUIS PEREZ LOPEZ
31	PUENTE 1	KIMBERLY STEFANIA SANTOS MARTINEZ
32	PUENTE 2	SAULO EDUARDO VARGA LOPEZ
33	CIC 1 VIG	DAILO RODRIGUEZ GONZÁLEZ
34	CIC 2 VIG	ALEJANDRO TUDANCA ZAMORA
35	NASAR	JUAN SUAREZ RUIZ

Tabla 4-6. Solución situación navegación a dos vigilancias

Siendo el resultado óptimo $f_4(x) = -817$

En este caso, si se tiene en cuenta [22] los datos introducidos en el “Excel navegación dos vigilancias”, se pueden sacar las siguientes conclusiones por cada puesto

1. CO: Ocupado por el CC Carlos Rodríguez Palma, el cuál es el único que cumple el criterio de CO y la experiencia necesaria para ocupar este puesto (120 meses de Oficial).
2. XO: Ocupado por el TN Francisco Javier Ruíz Sánchez, el cuál es el único que cumple el criterio de CO y la experiencia necesaria para ocupar este puesto (96 meses de Oficial).
3. JOPS: Ocupado por el TN Miguel Londra Martínez, el cuál cumple el criterio de JOPS y la experiencia necesaria para ocupar este puesto (48 meses de Oficial destinado en Sistemas de Combate).

4. JMAQS: Ocupado por la TN Marino Gandarillas Bonmatí, el cuál cumple el criterio de JMAQS y la experiencia necesaria para ocupar este puesto (48 meses de Oficial destinado en Energía y Propulsión).
5. Enfermera: Ocupado por la TTE Irene Lanaspá Abad, la cuál es la única persona que cumple el criterio de SAN-EOF.
6. Guardia interior: Ocupado por el TTE Felipe Escámez Ruíz, el cuál es la única persona que cumple el criterio de CINA-EOF y la experiencia necesaria (24 meses de Oficial destinado en Aprovisionamiento).
7. OGP 1ª vigilancia: Ocupado por el AN Guillermo Batlles González, el cuál cumple con los criterios de CGA-EOF, SICP-BAM y WECDIS.
8. OGP 2ª vigilancia: Ocupado por el AN Julio Curt Sanz, el cuál cumple con los criterios de CGA-EOF, SICP-BAM y WECDIS.
9. Supervisor CIC 1ª vigilancia: Ocupado por el SG1 Richard Muniain Bakaikoa, el cuál cumple con 7 de los 12 requisitos para este puesto y la experiencia necesaria (24 meses de Suboficial en Sistemas de Combate).
10. Supervisor CIC 2ª vigilancia: Ocupado por el SG1 Roberto Yvañez Suárez, el cuál cumple con 7 de los 12 requisitos para este puesto y la experiencia necesaria (24 meses de Suboficial en Sistemas de Combate).
11. Contramaestre: Ocupado por el C1 Pedro Baltasar Cózar, el cuál cumple con el requisito de MNS-SUB, aunque no cumple con la experiencia necesaria (24 meses de Suboficial en Control de Buque) porque ni siquiera es suboficial.
12. Supervisor puente 1ª vigilancia: Ocupado por el SGTO Tobías San Martín Paz, el cuál cumple con todos los requisitos para este puesto y la experiencia necesaria (24 meses de Suboficial en Sistemas de Combate).
13. Supervisor puente 2ª vigilancia: Ocupado por el SGTO Raúl López Olmos, el cuál cumple con 3 de 4 de los requisitos para este puesto y la experiencia necesaria (24 meses de Suboficial en Sistemas de Combate).
14. Radio 1ª vigilancia: Ocupado por el AN Santiago Navarro González, el cuál cumple con el criterio de MHS, aunque no cumple con la experiencia necesaria (24 meses de Suboficial en Sistemas de Combate) porque es Oficial y nunca ha servido como Suboficial en Sistemas de Combate. Esta asignación de puesto no es válida porque este puesto no puede ser ocupado por un Oficial. Se debe buscar otro miembro de la dotación para este puesto.
15. Radio 2ª vigilancia: Ocupado por el SG1 Roberto Lucena Gil, el cuál cumple con todos los requisitos para este puesto y la experiencia necesaria (24 meses de Suboficial en Sistemas de Combate).
16. CCC 1ª vigilancia: Ocupado por el SG1 Javier Gallego Fernández, el cuál cumple con 9 de 13 requisitos para este puesto y la experiencia necesaria (24 meses de Suboficial en Energía y Propulsión).
17. CCC 2ª vigilancia: Ocupado por el SGTO Luís Gómez García, el cuál cumple con 10 de 13 requisitos para este puesto y la experiencia necesaria (24 meses de Suboficial en Energía y Propulsión).
18. Supervisor Guardia Interior: Ocupado por el SGTO Arturo Jiménez Puente, el cuál cumple con el requisito necesario para este puesto y la experiencia necesaria (24 meses de Suboficial en Aprovisionamiento).
19. Cocina: Ocupado por el MRO Alberto José Peña González, el cuál cumple con el requisito necesario para este puesto.
20. Cocina/sanitario: Ocupado por la MRO Carla Núñez González, la cual cumple con los dos requisitos necesarios para este puesto.
21. Panadera: Ocupado por la MRO José Julio Ojeda Mora, la cual cumple con el requisito necesario para este puesto.

22. Cocina: Ocupado por la MRO Ivonn Fernanda Cuadrado Navas, la cual cumple con el requisito necesario para este puesto.
23. GII 1ª vigilancia: Ocupado por el MRO José Manuel Armada Malagón, el cuál cumple con todos los requisitos para este puesto y con la experiencia necesaria (24 meses de Marinero en Energía y Propulsión).
24. GII 1ª vigilancia: Ocupado por MRO Héctor Ramos Martínez, el cuál cumple con los 3 de 5 requisitos para este puesto y con la experiencia necesaria (24 meses de Marinero en Energía y Propulsión).
25. GII 2ª vigilancia: Ocupado por MRO José Manuel Armada Malagón, el cuál cumple con todos los requisitos para este puesto y con la experiencia necesaria (24 meses de Marinero en Energía y Propulsión).
26. GII 2ª vigilancia: Ocupado por la MRO Inmaculada Concepción Gil Gómez, el cuál cumple con todos los requisitos para este puesto y con la experiencia necesaria (24 meses de Marinero en Energía y Propulsión).
27. Ronda 1ª vigilancia: Ocupado por el MRO Mario Garay Darriba, que solo cumple con 1 de los 7 requisitos para este puesto y sin ninguna experiencia previa.
28. Ronda 1ª vigilancia: Ocupado por el MRO Andrés Felipe Moreno, que cumple con 3 de 7 de los requisitos para este puesto.
29. Ronda 2ª vigilancia: Ocupado por el MRO Julián Serrano Cantera, que cumple con 2 de 7 de los requisitos para este puesto.
30. Ronda 2ª vigilancia: Ocupado por el MRO Luís Pérez López, que cumple con 5 de 7 de los requisitos para este puesto.
31. Puente 1ª vigilancia: Ocupado por la MRO Kimberly Estefanía Santos Martínez, que cumple con el requisito necesario para este puesto.
32. Puente 2ª vigilancia: Ocupado por el MRO Saulo Eduardo Varga López, que cumple con el requisito necesario para este puesto.
33. CIC 1ª vigilancia: Ocupado por el MRO Dailo Rodríguez González, que cumple con el requisito necesario para este puesto.
34. CIC 2ª vigilancia: Ocupado por el C1 Alejandro Tudanca Zamora, que cumple con el requisito necesario para este puesto.
35. NASAR: Ocupado por el MRO Juan Suárez Ruíz, la cual cumple con el requisito necesario para este puesto.

Estos resultados nos dejan ver que todos los puestos están ocupados por personal que cumple con gran parte de los requisitos para ello, tanto de formación como de experiencia. Sin embargo, el caso del AN Santiago Navarro González es un fallo por corregir en este sistema.

Una vez revisado el resultado, se llega a la conclusión que este puesto tiene muy pocos requisitos. Al ser así, hace que personal que cumpla con uno sólo de estos requisitos pueda ser asignado a este puesto. Para ello, aumentamos los requisitos para este puesto. Una vez cambiado los requisitos de este puesto, se nos queda el resultado reflejado en la Tabla 4-7. Solución situación navegación a dos vigilancias final, donde los únicos cambios son:

- Supervisor CIC 2ª vigilancia: Ocupado por el C1 Juan Carlos Ruesta Ruíz que cumple con 5 de los 7 requisitos máximos, aunque no cumple con la experiencia porque nunca ha servido como suboficial.
- Radio 1ª vigilancia: Ocupado por el SG1 Roberto Yvañez Suárez que cumple con 3 de los 4 requisitos máximos para este puesto y con la experiencia necesaria (24 meses de Suboficial en Sistemas de Combate).

Este fallo ha ocurrido porque no se han definido los requisitos para ese puesto de forma concreta, por lo que se ha corregido de forma rápida y sencilla debido a que ha sido un fallo humano. Se puede concluir que el sistema funciona de forma correcta y que los errores que surgen son por error humano, tales como:

- No introducir los datos de forma correcta.
- No definir de forma correcta los parámetros.

1	CO	CARLOS RODRÍGUEZ PALMA
2	XO	FRANCISCO JAVIER RUÍZ SÁNCHEZ
3	JOPS	MIGUEL LONDRA MARTÍNEZ
4	JMAQS	MARINO GANDARILLAS BONMATÍ
5	ENFERMERA	IRENE LANASPA ABAD
6	GUARDIA INTERIOR	FELIPE ESCÁMEZ RUÍZ
7	OGP 1 VIG	GUILLERMO BATLLES GONZÁLEZ
8	OGP 2 VIG	JULIO CURT SANZ
9	SUP CIC 1 VIG	RICHARD MUNIAN BAKAIKOA
10	SUP CIC 2 VIG	JUAN CARLOS CUESTA RUIZ
11	CONTRAMESTRE	PEDRO BALTASAR PERALTA COZAR
12	SUP PUENTE 1 VIG	TOBÍAS SAN MARTÍN PAZ
13	SUP PUENTE 2 VIG	RAUL LÓPEZ OLMOS
14	RADIO 1	ROBERTO YVAÑEZ SUAREZ
15	RADIO 2	ROBERTO LUCENA GIL
16	CCC 1 VIG	INMACULADA CONCEPCION GIL GOMEZ
17	CCC 2 VIG	LUIS GÓMEZ GARCÍA
18	SUPERVISOR GUARDIA INTERIOR - COCINA - APROV	ARTURO JIMENEZ PUENTE
19	COCINA	ALBERTO JOSE PEÑA GONZALEZ
20	COCINA / SANITARIO	RAFAEL DOMINGUEZ GOMEZ
21	PANADERA	JOSE JULIO OJEDA MORA
22	COCINA	IVONN FERNANDA CUADRADO NAVAS
23	GII 1 VIG	HÉCTOR TORRENTE PALMA
24	GII 1 VIG	HÉCTOR RAMOS MARTINEZ
25	GII 2 VIG	JOSE MANUEL ARMADA MALAGON
26	GII 2 VIG	JAVIER GALLEGO FERNÁNDEZ
27	RONDA 1 VIG	MARIO GARAY DARRIBA
28	RONDA 1 VIG	ANDRES FELIPE ANTON MORENO
29	RONDA 2 VIG	JULIÁN SERRANO CANTERA
30	RONDA 2 VIG	LUIS PEREZ LOPEZ
31	PUENTE 1	KIMBERLY STEFANIA SANTOS MARTINEZ
32	PUENTE 2	SAULO EDUARDO VARGA LOPEZ
33	CIC 1 VIG	DAILO RODRIGUEZ GONZÁLEZ
34	CIC 2 VIG	ALEJANDRO TUDANCA ZAMORA
35	NASAR	JUAN SUAREZ RUIZ

Tabla 4-7.Solución situación navegación a dos vigilancias final

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Viendo que el código de Matlab desarrollado funciona de forma correcta, se puede determinar que el objetivo del TFG se ha cumplido. Se ha conseguido organizar (sobre el papel) de forma óptima la dotación de un buque. En caso de que se encuentre un error, se debe de revisar si los datos se han introducido de forma correcta y si los requisitos de cada puesto son suficientes. Sin embargo, esto se debe de usar más como una guía que como un documento que seguir al pie de la letra debido a que se pueden producir cambios en el personal por bajas u otros motivos. Al tener este documento de guía, se puede hacer más fácil el buscar a un perfil parecido a la persona que hay que sustituir.

Es importante destacar que lo único que coincide con la realidad de este trabajo con respecto al BAM “Meteoro” (P-41) es el número de personal y los puestos a ocupar, cumpliendo así con la ley de protección de datos [23]. Todos los perfiles han sido totalmente inventados, por lo que puede que haya personal con formaciones mucho más amplias o mucho más reducidas que en la realidad. A pesar de que sean perfiles inventados, se ha consultado con distintos miembros de la Armada para que dieran su visto bueno sobre si los perfiles inventados pueden llegar a parecerse o no a perfiles profesionales reales.

Sería conveniente usar este método para diseñar un plan de combate con datos de una dotación real y llevarlo a la práctica. El llevarlo a la práctica permitiría encontrar fallos del modelo para hacerlo más fiable.

La parte más interesante de este trabajo es que es bastante versátil. Solo hay cambiar unos pocos de datos para que cumpla con las restricciones y requisitos que queramos. Solo cambiando las matrices persona-puesto-curso y persona-puesto-experiencia se podría:

- Si se cambia el número de personal, se puede usar este método para cualquier tipo de buque, desde los que tienen un mayor número de personal, como el buque de asalto anfibio “Juan Carlos I” (L-61) que cuenta con una dotación de 261 personas; hasta los que menor número de personal tienen, como el patrullero fluvial “Cabo Fradera” (P-201) que solo cuenta con una dotación de 7 personas.
- Si se cambian los puestos, se puede usar este método para cualquier tipo de situación. Como se ha podido observar en este trabajo, se ha usado para situaciones tan dispares como babor y estribor de guardia, donde necesitábamos cubrir hasta 41 puestos; como para el fondeo, donde solo tienen que cubrirse 23 puestos.
 - De la matriz persona-puesto-curso se puede extraer el nuevo vector de requisitos máximos k , el cual se necesita para resolver el problema.
 - De la matriz persona-puesto-experiencia se puede extraer el nuevo vector de experiencia mínima deseada e , el cual se necesita para resolver el problema.

En definitiva, este método para la asignación de puestos en un plan de combate ya se podría estar usando en las unidades de la Armada.

5.2 Líneas futuras

A pesar de que se propuso un modelo de PL entera que funciona para obtener el plan de combate de un buque, se pueden cometer errores humanos a la hora de resolver estos problemas. Esto se debe a la inmensa cantidad de datos y de restricciones a cumplir cuando estos se rellenan. Los errores más comunes son:

- Poner más de una especialidad por persona en la matriz persona-curso.
- Poner más de un empleo por persona en la matriz persona-curso.
- Poner una aptitud de oficial a un suboficial y viceversa en la matriz persona-curso.
- Asignar un curso que no tiene a alguien que lo tenga en la matriz persona-curso.
- Definir mal los requisitos en la matriz persona-puesto-curso para cada puesto.
- Asignar una experiencia a alguien que no tiene en la matriz persona-experiencia.
- Definir mal los requisitos en la matriz-puesto-experiencia para cada puesto.

Teniendo en cuenta que la matriz persona-curso tiene un tamaño de 37x79 (2923 datos) y que la matriz persona-experiencia tiene un tamaño de 37x31 (1147 datos), se tienen que rellenar 4070 datos. Esto hace que sea muy probable el cometer errores y muy complicado el poder localizarlo.

La mejor forma de resolver este problema sería poder automatizar todas las acciones descritas anteriormente como los errores más comunes. Para ello, lo mejor sería un sistema centralizado que tenga todos los datos del personal de la Armada, porque esto también evitaría problemas burocráticos, donde se tiene que rellenar nuestros datos personales cada vez que se pide una comisión, permisos, etc.

Esta automatización también debería incluir los requisitos a la hora de ocupar un puesto, los cuáles pudieran cambiarse con permiso del Sr. Comandante del buque

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Boletín Oficial del Estado, *LEY 39/2007, de 19 de noviembre, de la carrera militar*, Madrid, 2007.
- [2] K. R. Baker, *Optimization Modeling with Spreadsheets*, Wiley, 2015.
- [3] R. J. Vanderbei, *Linear Programming: Foundations and Extensions*, Springer, 2014.
- [4] L. Khachiyan, *A polynomial algorithm in linear programming*, 1979.
- [5] J. K. Strayer, *Linear Programming and Its Applications*.
- [6] S. P. Bradley, *Applied Mathematical Programming*.
- [7] J. K. Lenstra, *The Simplex Method: A Probabilistic Analysis*.
- [8] L. A. Wolsey, *Integer and Combinatorial Optimization*.
- [9] Armada Española, «Divisas y distintivos Armada Española,» Armada Española, [En línea]. Available: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/personalemplo/prefLang-es/06divisas>. [Último acceso: 18 Enero 2023].
- [10] Ministerio de Defensa, «Especialidades oficiales de la Armada,» Armada Española, [En línea]. Available: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/personalemplo/prefLang-es/01oficiales--03especialidadesoficiales>. [Último acceso: 06 marzo 20223].
- [11] Armada Española, «Qué ofrecemos: suboficiales,» Armada Española, [En línea]. Available: <file:///D:/TFG/BIBLIOGRAF%C3%8DA/Qu%C3%A9%20Ofrecemos%20-%20Empleo%20y%20formaci%C3%B3n%20-%20Armada%20-%20Ministerio%20de%20Defensa%20-%20Gobierno%20de%20Espa%C3%B1a.html>. [Último acceso: 18 Enero 2023].
- [12] Armada Española, «Especialidades marinería y tropa,» Armada Española, [En línea]. Available: <file:///D:/TFG/BIBLIOGRAF%C3%8DA/Especialidades%20-%20Elige%20tu%20especialidad%20-%20Empleo%20y%20formaci%C3%B3n%20-%20Armada%20-%20Ministerio%20de%20Defensa%20-%20Gobierno%20de%20Espa%C3%B1a.html>. [Último acceso: 18 Enero 2023].
- [13] Armada. Jefatura de Personal. Dirección de Enseñanza Naval. Sección de Coordinación y Control, «Previsión de Cursos Año 2023,» 2022.
- [14] Centro de Doctrina de la Flota, *D-CP-01. Manual doctrinal de Seguridad Interior a bordo*, 2021.
- [15] Comandante BAM Meteoro (P-41), *Manual de Organización BAM Meteoro (P-41)*, 2022.
- [16] Boletín Oficial del Estado, *Real Decreto 601/2016, de 2 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea Operativa*, 2016.
- [17] FDRA- Fuerza Naval, «Data Links: Link 11, Link 16 y Link 22,» 22 Noviembre 2013. [En línea]. Available: <http://fdra-naval.blogspot.com/2013/11/datalinks-link-11-link-14-link-22.html>. [Último acceso: 18 Enero 2023].

- [18] Navantia, «Sistema de Gestión de Combate SCOMBA,» Navantia, [En línea]. Available: na de Gestión de Combate SCOMBA. [Último acceso: 18 Enero 2023].
- [19] A. A. G. Estévez, «Correderas Doppler,» 2020.
- [20] Jefatura de Personal. Dirección Enseñanza Naval. E.E. "Antonio Escaño", «El Medio Ambiente en la Armada,» 2008.
- [21] ESCUELA NAVAL MILITAR, Pub. ENM 414. MONTAJE OTO MELARA 76/62, 1998.
- [22] J. G. Escámez, *Excel navegación a dos vigilancias*, 2023.
- [23] Boletín Oficial del Estado, *Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales*, 2018.
- [24] G. Dantzig, *REminiscences about the Origins of Linear Programming*, Rio de Janeiro: Mathematical Programming, 1984.
- [25] T. Koopmans, *Actively Analysis of Production and Allocation*, Nueva York: John Wiley & sons, 1951.

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, Y/O ECONÓMICAS, Y/O AMBIENTALES

Un programa para asignación de puestos en un plan de combate en un buque de guerra puede tener varias implicaciones sociales, económicas y ambientales, algunas de las cuales se describen a continuación:

- Implicaciones sociales: El programa puede tener un impacto en la moral y el bienestar de los tripulantes del buque. Si el programa asigna a algunos tripulantes a puestos de mayor riesgo, esto podría generar preocupación o ansiedad entre ellos. También puede haber preocupación por la justicia en la asignación de puestos, si algunos tripulantes sienten que no han recibido un trato justo.
- Implicaciones económicas: El programa podría tener implicaciones económicas si se toma en cuenta la cantidad de recursos que se necesitarían para desarrollar y mantener el software. Además, con la implementación de este programa se conseguirán dotaciones más especializadas y que necesiten hacer un menor número de cursos mientras están destinados en sus nuevas unidades. Esto creará un gran alivio de esfuerzo económico, logístico y de personal a la Armada.
- Implicaciones ambientales: Un buque de guerra es un equipo que tiene un impacto ambiental significativo. La implementación de este programa podría aumentar la eficiencia del buque en combate, pero también podría aumentar su impacto ambiental. Los buques de guerra usan combustibles fósiles y generan emisiones contaminantes que pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente.

En resumen, un programa para asignación de puestos en un plan de combate en un buque de guerra puede tener varias implicaciones sociales, económicas y ambientales. Es importante considerar cuidadosamente estas implicaciones antes de implementar el programa y tomar medidas para minimizar cualquier impacto negativo.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

Este trabajo puede cambiar la forma de valorar al personal de la Armada haciendo que se centre más en los hechos y en las acciones llevadas a cabo más que en actitudes o formas de ser. En caso de implementar este programa, el personal que más destacará será el más formado y con más experiencia a bordo.

Esto, aunque pueda parecer un aspecto positivo, no llega a ser del todo. No hay que olvidar que en la Armada se trabaja, se dirige y se trata con personas. Esto hace que a la hora de valorar la valía del personal se deban de considerar otros aspectos tales como el liderazgo, el actuar bien bajo presión, poder generar un ambiente agradable de trabajo o la empatía. El personal que carezca de estos aspectos ya puede ser el mejor formado, a la hora de la verdad puede crear un ambiente tóxico e insoportable para todo aquel que tenga alrededor, haciendo que el personal no pueda cumplir sus obligaciones de la mejor forma posible.

Se debe de buscar una forma de implementar este sistema, sin dejar de lado la parte humana a la hora de elegir al personal más capacitado para cada puesto.

ANEXO III: CONTENIDO DEL TERCER ANEXO