



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Aplicación de Técnicas de Decisión Multicriterio para la selección
de un buque de desembarco anfibio para la Armada Española*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Jesús Otero Máiz

DIRECTORES: Andrés Suárez García

Elena Arce Fariña

TN Pedro Jesús Carrasco Pena

CURSO ACADÉMICO: 2018-2019

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Aplicación de Técnicas de Decisión Multicriterio para la selección
de un buque de desembarco anfibio para la Armada Española*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General / Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

La continua toma de decisiones es un proceso inherente al ser humano y todos nosotros tomamos a diario cientos de ellas que definen el resultado de nuestras actividades. Muchas de estas decisiones son tan sencillas que se realizan inconscientemente, pero sin embargo hay otras que requieren más reflexión.

La misión fundamental de la Armada es la defensa de España y la protección de los españoles y sus legítimos intereses en y desde la mar, allá donde sea necesario. Dada la importancia de esta misión para el conjunto de España, las decisiones que se tomen en su ámbito conllevarán importantes repercusiones. Sin embargo, no existe a día de hoy ningún criterio ni método estandarizado en la Armada para tomar decisiones de carácter estratégico, lo que admite cierto grado de subjetividad que a su vez repercutirá en la eficacia última de la solución adoptada.

En este TFG se introduce el concepto de las Decisiones Multicriterio, así como un número de métodos muy útiles a la hora de resolver problemas de alta complejidad de una manera relativamente objetiva. En particular se estudiarán los métodos DEMATEL y AHP.

Finalmente, para demostrar la aplicabilidad de estos métodos en el ámbito de la Armada, se propone un ejemplo de cómo se podría llevar a cabo la selección de un buque anfibio valiéndose de las herramientas anteriormente mencionadas.

PALABRAS CLAVE

Métodos de Decisión Multicriterio, AHP, DEMATEL, Buque anfibio, Comparativas.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis tutores: a Doña Elena Arce Fariña, por su disponibilidad absoluta y su predisposición continua a ayudar con todo lo que estuviese en su mano, a Don Andrés Suárez García, por ser una fuente inagotable de recursos y documentación y por su paciencia a la hora de comprobar los interminables cálculos. Al Teniente de Navío del Cuerpo de Ingenieros Don Pedro Carrasco Pena, por su ayuda y guía en la parte más técnica del trabajo y por poner a mi disposición su vasto conocimiento del tema. Sin la experiencia y el apoyo brindado por todos ellos el reto que ha supuesto para mí la realización de este trabajo no habría salido adelante.

A mi Promoción, la 419-149, por ser una fuente constante de apoyo e inspiración, y por tener la paciencia de rellenar las encuestas necesarias para realizar este trabajo.

A la Segunda Brigada, por su generosidad al haber encontrado un rato en su apretado horario para ayudarme con la recolección de datos.

Y por último, pero no por ello menos importante, a mi padre, el C.N. Don Jesús Otero Aldereguía, por apoyarme moralmente en todo momento y por aportar su incalculable experiencia en guerra anfibia, además por de ponerme en contacto con los oficiales que a su vez han aportado sus valiosos conocimientos a este trabajo.

CONTENIDO

Contenido	1
Abreviaturas	4
Índice de Figuras	6
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción y objetivos	8
1.1 Introducción	8
1.2 Objetivos	9
2 Estado actual y avances en la toma de decisiones	10
2.1 Introducción a la toma de decisiones	10
2.1.1 Introducción	10
2.1.2 Pasos en la toma de decisiones	10
2.1.3 Tipos de modelos	11
2.1.4 Posibles errores	12
2.2 Teoría de la Decisión	12
2.2.1 Decisiones Multicriterio	12
2.2.2 Métodos para la resolución	12
2.3 . El Método AHP.....	13
2.3.1 Definición y características.....	13
2.3.2 Fundamentos teóricos	13
2.4 El Método DEMATEL.....	14
2.4.1 Definición y características.....	14
2.4.2 Fundamentos teóricos	14
2.5 Comparación AHP y DEMATEL	15
2.6 La toma de decisiones en las FAS	15
2.6.1 Programas de obtención de armamento y material	15
2.6.2 La toma de decisiones en la Armada	17
2.6.3 La Gestión de Proyectos en la Armada.....	19
2.7 Posibles aplicaciones en la Armada	20
2.7.1 AHP	20
2.7.2 DEMATEL	20
3 Metodología.....	21
3.1 Introducción	21
3.2 Funcionamiento del Método AHP	22

3.3 Funcionamiento del Método DEMATEL	23
3.4 Resumen del problema.....	25
3.5 Buques considerados.....	26
3.5.1 Introducción	26
3.5.2 Clase Galicia	27
3.5.3 Juan Carlos I	28
3.5.4 Clase Wasp	29
3.5.5 Clase San Antonio	30
3.5.6 Clase Albion	31
3.5.7 Clase Mistral.....	32
3.5.8 Clase Dokdo.....	33
3.6 Características estudiadas	34
3.6.1 Coste	34
3.6.2 Capacidad anfibia	34
3.6.3 Capacidad aeronaval	34
3.6.4 Capacidad de transporte.....	34
3.6.5 Equipamiento	34
4 Resultados	35
4.1 Encuestas realizadas.....	35
4.1.1 Encuesta AHP.....	35
4.1.2 Encuesta DEMATEL.....	37
4.2 Resolución DEMATEL.....	39
4.2.1 Matriz de Relación Directa (A)	39
4.2.2 Matriz Relación Directa Normalizada (D)	40
4.2.3 Matriz Relación (T)	40
4.3 Resolución AHP.....	42
4.3.1 Matriz de Comparación de Criterios (MCC)	42
4.3.2 Matrices de Comparación de criterios por Pares (MCP)	42
4.3.3 Consistencia	45
4.3.4 Matriz de Prioridad Global	48
4.4 Elección final	48
4.4.1 Resultados DEMATEL.....	48
4.4.2 Resultados AHP	49
4.5 Consideraciones adicionales	50
5 Conclusiones y Líneas Futuras	52
5.1 Conclusiones Finales.....	52

5.2 Líneas Futuras	52
5.3 Cumplimiento de objetivos	53
6 Bibliografía.....	54
Anexo I: Fichas técnicas de características de buques	57
Anexo II: Cálculos de Microsoft Excel	64
Anexo III: Encuestas Realizadas	71

ABREVIATURAS

AHP	Analytical Hierachy Process / Proceso Analítico Jerárquico
AJEMA	Almirante Jefe del Estado Mayor de la Armada
ANP	Analytical Network Process / Proceso Analítico de Redes
BAM	Buque de Acción Marítima
BPE	Buque de Proyección Estratégica
CI	Consistency Index / Índice de Consistencia
CIWS	Close In Weapons System / Sistema de Armas de Defensa Cercana
CP	Compromised Programming / Programación Compromiso
CR	Consistency Rate / Cociente de Consistencia
DDP	Directiva de Programa
DEMATEL	Decision Making Trial and Evaluation Laboratory / Laboratorio de Toma de Decisiones y Evaluación
DGAM	Dirección General de Armamento y Material
DIVLOG	División de Logística
DIVOPE	División de Operaciones
DIVPLA	División de Planes
EMA	Estado Mayor de la Armada
ESSM	Evolved Sea Sparrow Missile
EW	Electronic Warfare / Guerra Electrónica
FAS	Fuerzas Armadas
GP	Goal Programming / Programación por Metas
IM	Infantería de Marina
JSF	Joint Strike Fighter / Caza de Ataque Conjunto
KTS	Knots / Nudos
LCAC	Landing Craft Air Cushion / Aerodeslizador
LHA	Landing Helicopter Assault / Buque de Asalto con Helicópteros
LHD	Landing Helicopter Dock / Buque de Desembarco con Dique y Helicópteros
LPD	Landing Platform Dock / Plataforma de Desembarco con Dique
LPH	Landing Platform Helicopter / Plataforma de Desembarco con Helicópteros
LSD	Landing Ship Dock / Buque de Desembarco Dique
LSH	Landing Ship Heavy / Buque de Desembarco Pesado
LSL	Landing Ship Logistic / Buque de Desembarco Logístico
LST	Landing Ship Tank / Buque de Desembarco con Carros de Combate
MAUT	Multi Attribute Utility Theory / Teoría de la Utilidad Multiatributo

MCP	Matriz de Comparación Pareada
MDC	Métodos de Decisión Multicriterio
MINISDEF	Ministerio de Defensa
MN	Milla Náutica
MOP	Multi Objective Programming / Programación Multiobjetivo
RAM	Rolling Airframe Missile / Lanzamisiles de Defensa de Punto
RI	Random Index / Índice Aleatorio
SEGEMA	Secretaría General del Estado Mayor de la Armada
SEPER	Sección de Personal
TNS	Tons / Toneladas métricas
VLS	Vertical Launch System / Sistema de Lanzamiento Vertical
VSTOL	Vertical-Short Take Off Landing / Aeronaves de Despegue y Aterrizaje Vertical
VP	Vector de Prioridad

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Ejemplo de problema AHP	14
Figura 2-2 Proyectos en curso MINISDEF [11]	17
Figura 2-3 Organización EMA [12]	17
Figura 2-4 Estructura División de Planes [12]	18
Figura 2-5 Fases de la Gestión de Proyectos [11]	19
Figura 3-1 Metodología aplicada.....	21
Figura 3-2 Metodología aplicada.....	21
Figura 3-3 Definición del problema	25
Figura 3-4- L51 “Galicia”	27
Figura 3-5- L61 “Juan Carlos I”	28
Figura 3-6 – LHD 8 USS “Makin Island” [18]	29
Figura 3-7- LPD 20 USS “Green Bay” [19].....	30
Figura 3-8- L14 HMS “Albion” [20]	31
Figura 3-9- L9013 “Mistral” [21].....	32
Figura 3-10- L6111 “Dokdo” [23]	33
Figura 4-1 Participación Encuesta AHP.....	35
Figura 4-2 Relación participantes militares AHP	36
Figura 4-3 Participación Encuesta DEMATEL.....	37
Figura 4-4 Relación de participantes militares DEMATEL.....	38
Figura 4-5 Resultado DEMATEL	49
Figura 4-6 Resultados AHP	50
Figura 4-7 Resultados AHP por Cuerpos	51
Figura 0-1 Clase Galicia.....	57
Figura 0-2 Clase Juan Carlos I	58
Figura 0-3 Clase Wasp	59
Figura 0-4 Clase San Antonio	60
Figura 0-5 Clase Albion	61
Figura 0-6 Clase Mistral.....	62
Figura 0-7 Clase Dokdo	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Fases del proceso de obtención de recurso material [10].....	16
Tabla 3-1 Esquema de una MCP	22
Tabla 3-2 Escala de Saaty [5]	23
Tabla 3-3 Escala de influencia	24
Tabla 3-4 Buques seleccionados	26
Tabla 4-1 Correspondencia de escalas	37
Tabla 4-2 Matriz de Relación Directa, A	39
Tabla 4-3 Cálculo de S	39
Tabla 4-4 Matriz Relación Directa Normalizada, D	40
Tabla 4-5 Matriz Relación, T	40
Tabla 4-6 Relación filas y columnas Matriz T	41
Tabla 4-7 Matriz de Comparación de Criterios	42
Tabla 4-8 MCP, Coste	43
Tabla 4-9 MCP, Cap. Anfibia	43
Tabla 4-10 MCP, Cap. Aeronaval	44
Tabla 4-11 MCP, Cap. Transporte	44
Tabla 4-12 MCP, Equipamiento.....	45
Tabla 4-13 RI.....	46
Tabla 4-14 Consistencia MCC	46
Tabla 4-15 Consistencia Coste	46
Tabla 4-16 Consistencia Cap. Anfibia	47
Tabla 4-17 Consistencia Cap. Aeronaval	47
Tabla 4-18 Consistencia Cap. Transporte	47
Tabla 4-19 Consistencia Equipamiento.....	47
Tabla 4-20 Matriz de Prioridad Global	48
Tabla 0-1 Características Clase Galicia [24]	57
Tabla 0-2 Características Juan Carlos I [24]	58
Tabla 0-3 Características Clase Wasp [24]	59
Tabla 0-4 Características Clase San Antonio [24]	60
Tabla 0-5 Características Clase Albion [24]	61
Tabla 0-6 Características Clase Mistral [24]	62
Tabla 0-7 Características Clase Dokdo [24].....	63

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

La Armada Española siempre ha dado una gran importancia a la guerra anfibia y las operaciones de este tipo, al ser la contribución más importante a la proyección del Poder Naval sobre tierra. La Armada Española dispone del Cuerpo de Infantería de Marina más antiguo del mundo, fundado en 1537 [1]. La proyección de la fuerza naval en tierra se hace empleando medios anfibios que permitan el desarrollo de las operaciones terrestres de forma rápida y efectiva. La fortaleza de una armada se mide entre otras cosas por su capacidad de proyectar su fuerza en tierra como quedó evidenciado desde el desembarco en Alhucemas de 1925. [2]

En el ámbito militar, se definen las operaciones anfibas como el tipo de operación más compleja. Esto se debe a la necesidad de coordinar eficientemente una gran cantidad de medios, tanto navales como terrestres y aéreos. En este TFG va a centrarse en la vertiente naval, aunque sin perder de vista en ningún momento que el apoyo mutuo es imprescindible.

En la actualidad no existe un método claramente definido para la selección de un buque anfibio lo cual se puede traducir en cierta subjetividad a la hora de decidir. Este TFG busca optimizar la selección de un buque de este tipo mediante la aplicación de Métodos de Decisión Multicriterio.

Los Métodos de Decisión Multicriterio podrían ser la clave de resolver una gran cantidad de problemas a los que se enfrenta la Armada en el día a día. Estos métodos se han ido desarrollando durante la segunda mitad del siglo XX y comienzo del XXI, y aunque a actualmente siguen en constante evolución, existen varios que ya han sido perfeccionados y a pesar del desconocimiento general que existe alrededor de esta metodología, va cogiendo fuerza poco a poco en más y más empresas alrededor del mundo.

El caso estudiado es la adquisición de un buque anfibio para la Armada Española. Actualmente, nuestra flota cuenta con tres unidades destinadas a este tipo de misión. En primer lugar, el “Juan Carlos I”, el buque insignia de la Armada, de tipo LHD. Y dos LPD, el “Galicia” y el “Castilla”. Todos estos modelos fueron fabricados por la empresa nacional Navantia, que a día de hoy es la encargada de construir prácticamente la totalidad de las unidades navales de las que disponemos.

Es innegable el efecto positivo que genera esta autosuficiencia en la economía nacional ser capaces de construir nuestros buques en España. Sin embargo, en este TFG se pretende obviar las cuestiones socioeconómicas y políticas implicadas en el caso estudiado. En cambio, se pretende proporcionar una solución desde un punto de vista meramente técnico, comparando las capacidades de los respectivos buques de la manera más objetiva posible.

Como todas las organizaciones, la Armada Española debe evolucionar y adaptarse a los tiempos si pretende mantenerse a la vanguardia.

1.2 Objetivos

Los objetivos de este trabajo son:

- Plantear la evolución de los procesos de decisión y su estado actual, en concreto de los Métodos de Decisión Multicriterio.
- Conocer el proceso de toma de decisiones en las Fuerzas Armadas y en particular en la Armada, así como los organismos dedicados a esta tarea.
- Demostrar la viabilidad de estos métodos llevando a cabo una aplicación práctica de ellos para la adquisición de un buque anfibio para la Armada.

Para cumplir estos objetivos:

- 1- Se detallarán los métodos más relevantes para el caso estudiado y se llevará a cabo una comparación entre ellos para investigar las ventajas y los problemas de cada uno.
- 2- Se estudiarán los órganos y secciones de la Armada y el Ministerio de Defensa encargados de la toma de decisiones, así como las diferentes fases de este proceso. Enlazando con el objetivo anterior, se propondrán un número de ejemplos en los que serían aplicables los métodos estudiados, ya en el ámbito de la Armada.
- 3- Se utilizarán ciertas herramientas de Decisión Multicriterio. En primer lugar se usará el método DEMATEL para encontrar la relación entre las características a estudiar y finalmente el método AHP para seleccionar un buque entre las posibilidades analizando sus respectivas características en función de los criterios escogidos.
- 4- Antes de desarrollar los métodos de resolución, se recopilarán datos entre personal civil y militar, todos ellos relacionados y familiarizados con el mundo de la construcción naval. Para ello se usarán una serie de encuestas, con el fin último de reducir lo máximo posible la subjetividad del estudio.

2 ESTADO ACTUAL Y AVANCES EN LA TOMA DE DECISIONES

2.1 Introducción a la toma de decisiones

2.1.1 Introducción

En esta sección se detallará el proceso de toma de decisiones en general, y a continuación, se procederá a analizar más en detalle algunos métodos escogidos, para finalizar con posibles aplicaciones futuras en el ámbito de la Armada Española

La toma de decisiones es acción consciente o inconsciente realizada a diario tanto por personas individuales como por organizaciones de cualquier tipo, independientemente de su tamaño o fin. El caso a estudiar se enfocará a la marina de guerra de una nación cualquiera.

Una definición básica de cualquier proceso de toma de decisiones es la elección de lo “mejor” entre lo “posible”. Sin embargo, en muchas ocasiones no es tan sencillo definir claramente las posibilidades, y en caso de hacerlo, y dependiendo de su naturaleza, se emplearán diferentes criterios a la hora de decantarse por una solución final. [3]

2.1.2 Pasos en la toma de decisiones

A la hora de tomar una decisión de manera efectiva y responsable, es imperativo disponer de toda la información posible sobre cada una de las alternativas planteadas, así como las consecuencias más probables que cada elección podría desencadenar. Varios autores coinciden en que en cualquier proceso de toma de decisiones se distinguen ocho etapas claras: [4]

1. **Identificar el problema:** lo primero siempre debe ser la detección de una discrepancia entre el desarrollo actual de una operación y el desarrollo que se desearía tener. Para que una situación similar se considere un problema, el administrador debe de tener los recursos necesarios para actuar para solventarlo. En caso contrario, simplemente se tienen unas expectativas que no son realistas, ya que el problema no puede ser corregido.
2. **Identificar los criterios de decisión:** Lo siguiente sería visualizar que criterios deseamos que se tengan en cuenta a la hora de tomar la decisión. Puede tratarse de criterios cuantitativos, cualitativos o incluso en el mejor de los casos, una combinación de ambos. Esto estará definido en función del tipo de problema al que nos enfrentemos. (2.1.3)
3. **Asignar ponderaciones a los criterios:** es imprescindible priorizar correctamente los criterios seleccionados en el paso anterior. No todos los criterios tendrán la misma influencia en la decisión final. Puede haber uno o más criterios clave y otros que no tengan tanta importancia o que sean secundarios.

4. **Explorar las alternativas:** uno de los pasos más importantes será realizar una investigación en el campo de interés y finalmente definir con claridad las posibles soluciones exitosas de nuestro problema.
5. **Analizar las alternativas:** todas y cada una de las posibles soluciones al problema nombradas en el apartado anterior deben ser estudiadas minuciosamente, no solo en función de los criterios establecidos en el paso 2, sino en todas las dimensiones posibles. La persona o equipo a cargo de esta tarea asume una gran responsabilidad, ya que sobre ellos recaerán las posibles consecuencias inesperadas que pueda traer consigo la solución una vez adoptada.
6. **Seleccionar una alternativa:** una vez definidas y estudiadas en profundidad todas las alternativas que puedan solucionar nuestro problema con éxito, llega el momento de elegir una (o varias) entre todas ellas. Para ello, la persona u organización se basará en una comparación de los criterios definidos en el punto 2 para llegar a la solución que mejor se adapte a los objetivos a conseguir y al método a desarrollar.
7. **Implantar la alternativa:** ahora que ha finalizado el proceso de selección, llega el momento de implementar el modo de actuación escogido. El primer paso a realizar será informar de la decisión tomada a todas aquellas personas implicadas en el proyecto en cuestión y asegurarse de que están comprometidos con su realización. Esto suele resultar más sencillo si aquellos que deben llevar a cabo el proyecto forman también parte del proceso de decisión, ya que no será necesario ponerles al día. Para llevar a buen puerto cualquier proyecto de cierta entidad, es necesaria una efectiva planificación y organización, así como una dirección clara y consistente.
8. **Evaluar la efectividad de la decisión tomada:** para finalizar, los resultados obtenidos por medio de la decisión tomada y de la alternativa adoptada deben ser revisados para comprobar si efectivamente han resuelto el problema o por el contrario no han sido del todo efectivos. En el caso de que el problema persista, se debe revisar una vez más el proceso para identificar el punto en el que se ha cometido el error y entonces tomar las medidas necesarias para enmendarlo: o empezar con el proyecto desde el principio aplicando un enfoque diferente, o realizar cambios en uno o varios de los pasos intermedios. [4]

2.1.3 Tipos de modelos

En función del tipo de decisión que sea necesario tomar, ciertos modelos pueden ser utilizados en caso de tener que simplificar situaciones complejas. El objetivo consiste en destacar los aspectos más importantes de la situación que se pretende analizar y gracias al modelo, ser capaces de tener un mejor entendimiento de la realidad que se representa. [4]

En función de su naturaleza, los modelos se pueden clasificar como:

- **Objetivos/ Subjetivos:** en ciertos casos, los criterios de estudio no se pueden expresar de manera objetiva y no hay modelos predeterminados disponibles con los que realizar un estudio, con lo que se deberán analizar de una manera menos estructurada, basada en opiniones más subjetivas e intuitivas. En todo caso, cuantas más partes haya involucradas en el proyecto, más objetividad se logrará.
- **Analíticas/ Simulaciones:** los modelos analíticos son usados para llegar a soluciones, normalmente de carácter numérico y deben ser resueltos. Por el otro lado, las simulaciones son representaciones simplificadas de la realidad, creadas para poder estudiar los efectos que causaría la aplicación de diferentes alternativas.
- **Estáticos/ Dinámicos:** los modelos estáticos no tienen en cuenta el tiempo, mientras que en los dinámicos, se trata de una variable fundamental.
- **Deterministas/ Probabilísticos:** en un modelo determinista, todos los datos se conocen con certeza, mientras que en los probabilísticos se basan en aproximaciones recogidas en base a estudios, encuestas, etc. [4]

2.1.4 Posibles errores

Es imprescindible tener en cuenta que la toma de decisiones puede resultar ser un proceso complicado, especialmente en organizaciones con grandes estructuras y más aún en proyectos que impliquen a un gran número de personas. Para aumentar la probabilidad de tener éxito en las decisiones tomadas, es imperativo encontrar y seguir un método claro y bien definido que pueda ser aplicado en diferentes situaciones. [3]

Algunos de los errores cometidos con más frecuencia al enfrentarse a una decisión pueden ser:

- Concentrarse demasiado en las causas secundarias en lugar de en resolver el problema en sí.
- No tener perfectamente claro desde el principio el resultado deseado.
- Estar demasiado centrado en una única solución sin considerar en profundidad las demás alternativas. Esto puede ocurrir cuando el encargado de tomar la decisión tiene un conocimiento previo del tema en cuestión y su criterio no es del todo objetivo.
- Tomar decisiones que no resulten coherentes con los deseos globales de la organización. Independientemente de si se trata de una empresa o de cualquier otro tipo de asociación, nunca conviene perder de vista el objetivo común. Se recomienda precaución a la hora de tomar decisiones que difieran ampliamente de este objetivo global o de la forma de actuar de la organización.

2.2 Teoría de la Decisión

2.2.1 Decisiones Multicriterio

Como se ha explicado anteriormente, se puede definir la toma de decisiones como la elección de la mejor alternativa entre las posibles. Para ello es importante conocer cuáles son las posibles alternativas, pero al mismo tiempo es necesario puntualizar en qué nos vamos a basar para tomar una decisión u otra. En otras palabras, hay que definir los criterios a seguir.

Es posible que en algunas decisiones simples sólo se tenga en cuenta un único criterio. Por ejemplo, si alguien desea llegar de un sitio a otro de la manera más rápida posible, cogerá la carretera más corta. Pero, ¿qué ocurriría si en esa carretera hay un peaje, o a cierta hora se producen atascos, o si existiese una carretera alternativa más segura?

Como vemos, parece sencillo complicar el problema, pero lo que realmente estamos haciendo en este caso es añadir más criterios. De esta manera, una decisión que a priori parecía sencilla, se complica sustancialmente al convertirla en una Decisión Multicriterio.

En referencia al número de criterios a tener en cuenta, no existe una cantidad fija que sirva en todos los casos. Hay que analizar el caso que concierna en el momento y escoger un número lo suficiente alto para tomar la decisión con cierto grado de confianza, pero sin que sea tan grande que resulte en una complicación excesiva el problema.

En cuanto a los criterios, es cierto que puede ser que estén en concordancia unos con otros pero no tiene por qué ser siempre así, ya que puede ser que la mejora de uno de los criterios suponga un empeoramiento en uno o varios otros. En ese caso se dice que la solución es un óptimo de Pareto. [5]

Se puede argumentar que aunque los criterios sean discretos, siempre existirá cierta componente subjetiva en este tipo de decisión, de manera que dos personas llevando a cabo la resolución del mismo problema con exactamente los mismos datos y recursos a su disposición puedan llegar a soluciones diferentes.

2.2.2 Métodos para la resolución

En las últimas décadas, se han desarrollado un número considerable de Métodos de Decisión Multicriterio (MDM), de manera que se elija un enfoque u otro en función de la naturaleza de las alternativas. Algunos de los métodos más conocidos son:

- Conjunto continuo de alternativas
 - o Optimización
 - Programación Multiobjetivo (MOP)
 - Programación Compromiso (CP)
 - o Satisfacción
 - Programación por Metas (GP)
- Conjunto discreto de alternativas
 - o Teoría de la Utilidad Multiatributo (MAUT)
 - o Proceso Analítico Jerárquico (AHP)
 - o Métodos de sobre- clasificación (Electre, Promethee)

En resumen, un problema de Decisión Multicriterio (Ecuación (1)) se enunciará de la siguiente forma:

$$\text{opt } z(x) = (z_1(x), \dots, z_p(x)) \quad (1)$$

$$x \in F \quad (2)$$

Donde F (2) es el espacio de decisiones o alternativas

Es necesario ahora definir los conceptos básicos en el ámbito de las Decisiones Multicriterio:

- **Atributo:** se trata del valor medido de una decisión que es independiente del decisor. Como se ha explicado anteriormente, los atributos pueden ser contradictorios unos con los otros.
- **Objetivo:** es la dirección de mejora de un atributo. Será de maximización o minimización en el caso de atributos numéricos (un ejemplo sería el precio de un artículo) y basados en un sistema de preferencia para los atributos no numéricos (su color).
- **Nivel de Aspiración:** el nivel de un atributo considerado como aceptable. El nivel mínimo.
- **Meta:** es la combinación de un atributo con su nivel de aspiración.
- **Criterio:** atributo, objetivo o meta relevante para un problema de decisión determinado. [3]

2.3 . El Método AHP

2.3.1 Definición y características

El método AHP (*Analytical Hierachy Process*), o Método de Análisis Jerárquico, es un método de toma de decisiones muy popularizado basado en la evaluación de una serie de criterios que permiten jerarquizar un proceso y cuyo objetivo final consiste en optimizar la toma de decisiones gerenciales [6]. Este método no es puramente matemático, sino que al mismo tiempo analiza los problemas desde un punto de vista psicológico, como se explicará más adelante.

2.3.2 Fundamentos teóricos

El Método de Análisis Jerarquizado fue inventado por el matemático iraquí Thomas L. Saaty (1926-1994) en los años 70 y desde entonces ha sido perfeccionado en varias ocasiones. Este método se trata de una herramienta extremadamente útil a la hora de tomar decisiones en base a ciertos aspectos tanto cualitativos como cuantitativos. En lugar de ayudar al usuario a encontrar la opción intrínsecamente correcta, ayuda a encontrar la solución que mejor satisfaga su objetivo, basado en su propio entendimiento del problema. [7].

La ventaja del AHP frente a otros métodos es que reduce las decisiones más complejas a ciertos aspectos relativamente independientes unos de otros y, a continuación, los compara unos con otros de manera que se establezca una clara jerarquía entre ellos.

Hay dos diferencias principales entre el método AHP y sus precursores. En primer lugar, el primero permite combinar en una misma estructura valores intuitivos racionales junto con otros irracionales. En segundo lugar, el AHP permite al usuario valorar numéricamente la consistencia de sus decisiones. [8]

A continuación se propone ejemplo de un problema AHP con dos niveles:



Figura 2-1 Ejemplo de problema AHP

En este caso (Figura 2-1 Ejemplo de problema AHP), al igual que en el que concierne a este estudio, el Nivel 0 es el objetivo final de este análisis, el Nivel 1 son los criterios a tener en cuenta a la hora de realizar el estudio (también se podrían añadir subapartados en niveles entre el 1 y el 2). En el último nivel (Nivel 2), se encuentran las alternativas consideradas como una posible solución.

2.4 El Método DEMATEL

2.4.1 Definición y características

El método DEMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) es un método muy efectivo cuyo objetivo es evaluar los componentes causa- efecto de un sistema complejo. En otras palabras, investiga la influencia que ejercen unos criterios sobre los demás. Funciona evaluando la relación entre los diferentes factores y encontrar aquellos más importantes. Finalmente, asiste a la toma de decisiones por parte del usuario mediante un modelo gráfico muy visual.

2.4.2 Fundamentos teóricos

La técnica DEMATEL fue desarrollada por primera vez en 2006 por el Centro de Investigación de Geneva del Instituto Memorial de Batelle. La intención era la obtención de un sistema que permitiera exponer de forma visual la estructura de conjuntos de relaciones complicadas mediante el uso de matrices. Este método resulta especialmente útil a la hora de las relaciones causa- efecto entre los componentes de un sistema. DEMATEL pudo asistir a la identificación de factores independientes y ayudar al diseño de un gráfico reflejando las relaciones entre factores, resolviendo así multitud de

problemas a pesar de la alta complicación inicial que estos puedan mostrar en sus relaciones interdependientes. [5]

Debido tanto a sus capacidades únicas como a su eficacia, el método DEMATEL ha recibido mucha atención en los últimos años y ha sido aplicado con éxito en muchas disciplinas para resolver problemas de alta complejidad. Una de las ventajas principales de DEMATEL reside en que tiene en cuenta que, en la vida real, los sistemas tienen un número impreciso de variables y las relaciones entre ellas muchas veces no son fácilmente cuantificables. [9]

Además, a lo largo de la última década, se ha investigado esta técnica e incluso se han creado variaciones de la misma que, aunque con leves diferencias entre ellas, mantienen la misma idea general. Estas nuevas técnicas se podrían dividir en 5 categorías principales: “DEMATEL Clásico”, “Grey DEMATEL”, “Fuzzy DEMATEL”, “ANP (*Analytical Network Process*)” y “otros”. [10]

2.5 Comparación AHP y DEMATEL

A continuación, se debaten brevemente las ventajas e inconvenientes de ambos métodos, así como la posible combinación de ambos para lograr un análisis equilibrado.

A pesar de su indiscutible utilidad, el método AHP no considera los efectos indirectos de cada criterio. Simplemente asume que los criterios son independientes entre sí sin llegar nunca a plantear la posibilidad de que existan efectos causados por unos criterios sobre otros. Como resultado, la importancia de AHP radica en que permite mejorar sistemas de manera relativamente sencilla a corto y medio plazo. [10]

Por el contrario, el método DEMATEL no solo evalúa la importancia de cada criterio sino que adicionalmente muestra las relaciones causa- efecto de los criterios. Por medio del análisis de los diagramas de relación, se puede mejorar el proceso de toma de decisiones de manera eficiente y a la vez efectiva a largo plazo. El inconveniente principal de DEMATEL es que no proporciona una solución al problema, simplemente ayuda a comprender mejor los criterios.

El resultado de la combinación adecuada AHP y DEMATEL es un análisis completo y detallado del sistema en cuestión, además de la obtención de soluciones que satisfagan las necesidades del usuario en base a un conocimiento profundo de la naturaleza y relaciones de los criterios utilizados, mientras que a su vez, permite plantear soluciones que mantengan su eficacia a corto y a largo plazo. [5]

2.6 La toma de decisiones en las FAS

Tras haber revisado la teoría de la decisión, y en particular los métodos AHP y DEMATEL, en este apartado estudiaremos la metodología implementada actualmente en las Fuerzas Armadas, y por consiguiente en la Armada para la toma de decisiones.

2.6.1 Programas de obtención de armamento y material

Explicando a continuación en qué consisten los programas de armamento y material. Estos programas tienen como objetivo final dotar a las FAS de los sistemas, equipos o componentes que conformen una solución adecuada para satisfacer los requisitos funcionales u operativos previamente establecidos. [11]

Por lo general, su duración se extiende desde la etapa de establecimiento del programa hasta la preparación para entrada en servicio. Cada programa se ciñe a las directrices establecidas por el Secretario de Defensa en las instrucciones 67/2011 y 72/2012.

Las fases generales del proceso de obtención de recursos materiales son las siguientes (Tabla 2-1):

Fase	Etapas
Conceptual	Definición de necesidad operativa
	Pre viabilidad operativa
Definición y Decisión	Definición de requisitos
	Determinación de la alternativa de obtención
	Establecimiento de programas
	Preparación de la ejecución
Ejecución	Diseño
	Producción/ construcción/ desarrollo/ adquisición
Fase de Servicio	Preparación de la entrada en servicio
	Vida operativa
	Baja

Tabla 2-1 Fases del proceso de obtención de recurso material [11]

El establecimiento de programa, realizado en la fase de Definición y Decisión, se efectúa a través de la publicación de una Directiva de Programa (DDP), donde se recogen los objetivos del programa. Cabe reseñar que en casos excepcionalmente complejos o apremiantes, se podría constituir durante la Fase Conceptual, en concreto en la Etapa de Pre-viabilidad Operativa.

Es importante indicar que, durante toda la gestión de un programa, se integran las tareas de impulso, seguimiento y coordinación de todas las actividades relacionadas con su ejecución, así como revisión constante de los contratos derivados, siempre con el objetivo en mente de atender al cumplimiento del programa en el tiempo, coste y alcance determinados.

Dentro del MINISDEF, la gestión de los nuevos programas es realizada por la Dirección General de Armamento y Material (DGAM). Se encarga de la obtención, modernización y sostenimiento de los sistemas de armas y equipos de interés para la defensa nacional, así como los de venta para procurar la internacionalización de la industria española de defensa. A continuación se muestran los diferentes programas de armamento actualmente en curso, en particular se muestran los sistemas navales cuyo desarrollo se está llevando a cabo (Figura 2-2)



Figura 2-2 Proyectos en curso MINISDEF [12]

2.6.2 La toma de decisiones en la Armada

En la Armada las decisiones se toman en tres niveles: Estratégico, Operacional y Táctico. Cada uno de ellos con distintos grados de importancia y repercusión. Sin embargo, existe un organismo encargado específicamente de llevar a cabo la mayor parte de las decisiones de entidad que van a tener una gran repercusión en la Armada.

Este organismo es la División de Planes, encuadrada en la organización del Estado Mayor de la Armada (EMA), cuyo mando orgánico es el 2º AJEMA. A su vez el 2º AJEMA es el responsable de llevar a cabo la planificación, dirección, coordinación y control general de las actividades de la Armada para alcanzar los objetivos fijados por el AJEMA.

Por Instrucción 4/2016 del AJEMA, y con la aprobación del Ministro de Defensa, se revisó por completo la organización del EMA, de manera que se incrementa la centralización de las funciones y el equilibrio entre las diferentes estructuras.

Actualmente en el EMA se ubican los siguientes Órganos: Jefatura, Secretaría General del Estado Mayor de la Armada (SEGEMA), División de Planes (DIVPLA), División de Operaciones (DIVOPE) y División de Logística (DIVLOG) (Figura 2-3 Organización EMA) [13]

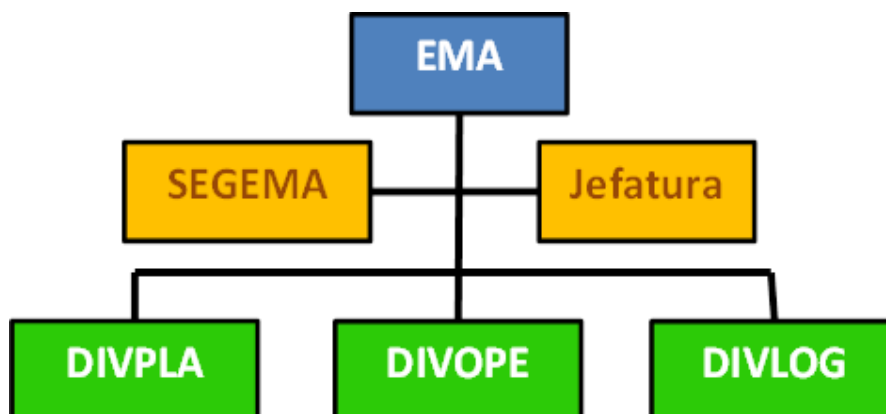


Figura 2-3 Organización EMA [12]

En el contexto de este estudio, el más relevante de estos Organismos es la División de Planes. Su cometido asignado es la responsabilidad de la organización y planteamiento global de la Armada a medio y largo plazo, de actualizar los planes resultantes y de la definición global, seguimiento y coordinación de los Programas que se desarrollen.

A su vez la DIVPLA se compone de: Oficina Técnica de Apoyo a Programas Internacionales (OTAPI), Sección de Planes Orgánicos (PLO), Sección de Planes Estratégicos (PLE), Sección de Planes de Recursos (PLAR) y Sección de Planes de Definición de Capacidades (PLAD). (Figura 2-4) [13].

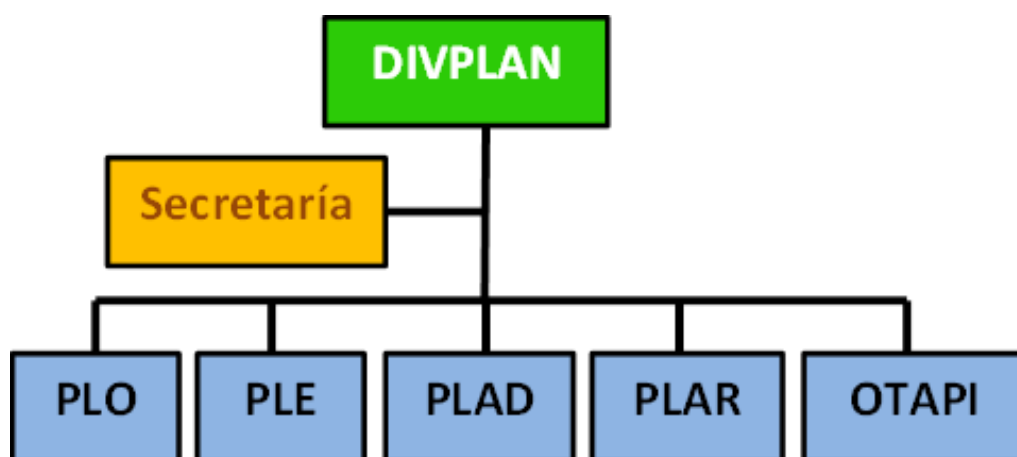


Figura 2-4 Estructura División de Planes [12]

Los cometidos principales de estas secciones son:

1. **Sección de Planes Orgánicos:** lleva a cabo estudios y presenta cambios orgánicos en la organización de la Armada, también propone el encuadre óptimo de los nuevos medios que se vayan incorporando con el paso del tiempo.
2. **Sección de Planes Estratégicos:** realizar el análisis de la situación estratégica para ayudar en la previsión de los posibles escenarios en los que se requiera la participación de la Armada, además regula la colaboración de la Armada Española con las Marinas de otros países y desarrolla la Doctrina Naval en la que se define el empleo de la fuerza en las Operaciones Navales.
3. **Sección de Planes de Recursos:** desarrollar todo lo referente a Recurso Financiero y de Personal, consultar las vacantes en el extranjero, trabajar estrechamente con la Sección de Personal (SEPER), elaborar el anteproyecto del presupuesto según las necesidades vigentes y el escenario económico.
4. **Sección de Planes de Definición de Capacidades:** en colaboración con el PLE, realiza la definición general de necesidades, identificando los medios e I+D que la Armada precisa en conjunción con resto de marinas de nuestro entorno.
5. **Oficina Técnica de Apoyo a Programas Internacionales:** liderar los Programas Internacionales que se le designen, gestionar y coordinar las peticiones de información desde y hacia la Armada. Supervisar el cumplimiento de los acuerdos firmados. [13]

De las secciones anteriores, vemos que los métodos de Decisión Multicriterio serían especialmente útiles en la Sección de Planes de Definición de Capacidades, siendo ese el órgano que se encarga de gestionar las adquisiciones a largo plazo, basado en la definición de necesidades de la Armada.

2.6.3 La Gestión de Proyectos en la Armada

En el año 2001, se introdujo en la Armada el concepto de la Gestión de Proyectos (GP), donde se recalca la necesidad de reinventar la metodología existente para adaptarla a las nuevas tecnologías y a las nuevas misiones y cometidos encargados a la Armada. [13]

Conviene revisar previamente unos conceptos básicos:

- **Gestión del Proyecto:** aplicación de conocimiento, habilidades, técnicas y herramientas a las actividades de un determinado proyecto para cumplir sus requisitos y finalmente su objetivo final en los plazos acordados, con el coste y nivel de calidad determinados.
- **Ciclo de Vida de un proyecto:** cada una de las etapas que es necesario desarrollar para obtener el producto o servicio deseado. Abarca desde el planeamiento del proyecto hasta su conclusión.
- **Comité Director:** órgano máximo encargado de dirigir y controlar el desarrollo de un proyecto concreto. Deberá supervisar la ejecución del mismo mediante la revisión, análisis y seguimiento continuo de su implantación. Para ello es su responsabilidad elaborar la Directiva donde explique con claridad los parámetros regulatorios del proyecto.
- **Director del Proyecto:** se trata del oficial encargado con dirigir el proyecto. Entre sus responsabilidades se encuentran la dirección del Comité Director, proponer su composición, establecer los objetivos, los organismos participantes y delega las responsabilidades que considere en el Jefe de Proyecto.
- **Jefe de Proyecto:** responsable de velar por el correcto cumplimiento y calidad en el proyecto. Al mismo tiempo, es el responsable ante el Comité Director de su control y coordinación. También elabora el Plan de Proyecto y asegura su eficacia y eficiencia. Comunicará al Comité Director las incidencias que puedan surgir y recomendará el cierre del proyecto cuando considere que se han alcanzado los objetivos planteados.
- **Jefe de Subproyecto:** en caso de que los haya, cada oficial a cargo de un Subproyecto se encarga de supervisarlos. Es responsable del mismo ante el Jefe de Proyecto.
- **Equipo de Trabajo:** da apoyo y soporte al Jefe de Proyecto /Subproyecto, tanto durante la ejecución del mismo como en la planificación previa.
- **Oficina Técnica de Proyectos:** es la encargada de establecerlos estándares y supervisar la Gestión de Proyectos. Su tarea principal consiste en definir las metodologías, técnicas y demás herramientas de soporte. Además se ocupa de impartir la formación necesaria para poder garantizar su correcta implantación. En la Armada, esta oficina se encuadra en la Sección de Planes Orgánicos de la División de Planes del EMA (Figura 2-3 Organización EMA). [12]

Aquí se presenta un esquema de las fases de la Gestión de Proyectos (Figura 2-5):



Figura 2-5 Fases de la Gestión de Proyectos [12]

Los Tipos de proyectos en el ámbito de la Armada son habitualmente los siguientes:

- Desarrollo de un nuevo servicio o producto.

- La construcción de un edificio o infraestructura para cualquier fin.
- La implementación, mejora o potenciación de procedimientos o procesos de trabajo ya existentes.
- Implementación de un cambio en el modelo, el funcionamiento, la estructura o el personal vigente en una organización.
- La adquisición o desarrollo de nuevo software o hardware.
- La realización de un trabajo de investigación. [12]

2.7 Posibles aplicaciones en la Armada

2.7.1 AHP

Predicción de la ruta de un submarino enemigo

La amenaza submarina resulta una de las más difíciles de combatir. La ventaja principal del submarino respecto al buque de superficie se basa en su discreción cuando se encuentra sumergido. Aun así, existen un número de medios que los buques y aeronaves tienen a su disposición a la hora de localizar, identificar, evaluar y destruir (si es necesario) al submarino. Si se dispone de una posición reciente del submarino enemigo, y se conoce su destino, se puede enumerar con cierta precisión un número determinado de posibles rutas que este submarino pueda seguir en base a ciertos criterios, como longitud, profundidad navegable, presencia de enemigos, presencia de pescadores, conocimiento previo de la ruta, etc. Se puede clasificar cada una de las rutas analizadas en función de estos criterios para intentar predecir cuál es en conjunto la mejor ruta para el submarino y por lo tanto la que con más probabilidad siga. A continuación, se desplegarán medidas y unidades antisubmarinas en la ruta o rutas más probables, resultando esto en una optimización de medios y esfuerzos.

2.7.2 DEMATEL

Determinar el material necesario en una patrulla de Infantería de Marina

Ya sea para un ejercicio o una operación real, los distintos elementos que compongan una fuerza de IM tendrán que decidir su equipamiento en cada caso para adaptarse lo mejor posible a cada situación. Por ejemplo, llevar mayor número armamento pesado, como ametralladoras y munición, les proporcionará una mayor potencia de fuego, pero reducirá su movilidad y la velocidad de su marcha, además de aumentar el cansancio del personal. Otro ejemplo sería decidir cuantos equipos de comunicaciones portar. A más equipos, mayor será la coordinación, pero también serán mayores las probabilidades de detección al aumentar su firma electromagnética. El método DEMATEL podría ayudar a los mandos de IM a decidir el equipamiento que deban llevar sus hombres en cada misión permitiéndoles visualizar más rápidamente como afectarían unos factores a otros.

3 METODOLOGÍA

3.1 Introducción

En este apartado se procederá a exponer la manera en que AHP y DEMATEL pueden ayudar a la toma de decisión sobre cuál debería ser el siguiente buque anfibio de la Armada Española. En primer lugar se detallará el funcionamiento de ambos métodos, seguido por una breve reseña acerca de los buques planteados como posibles soluciones y a continuación con los cálculos realizados y conclusiones obtenidas.

A continuación se muestra un diagrama resumen del trabajo realizado (Figura 3-1):

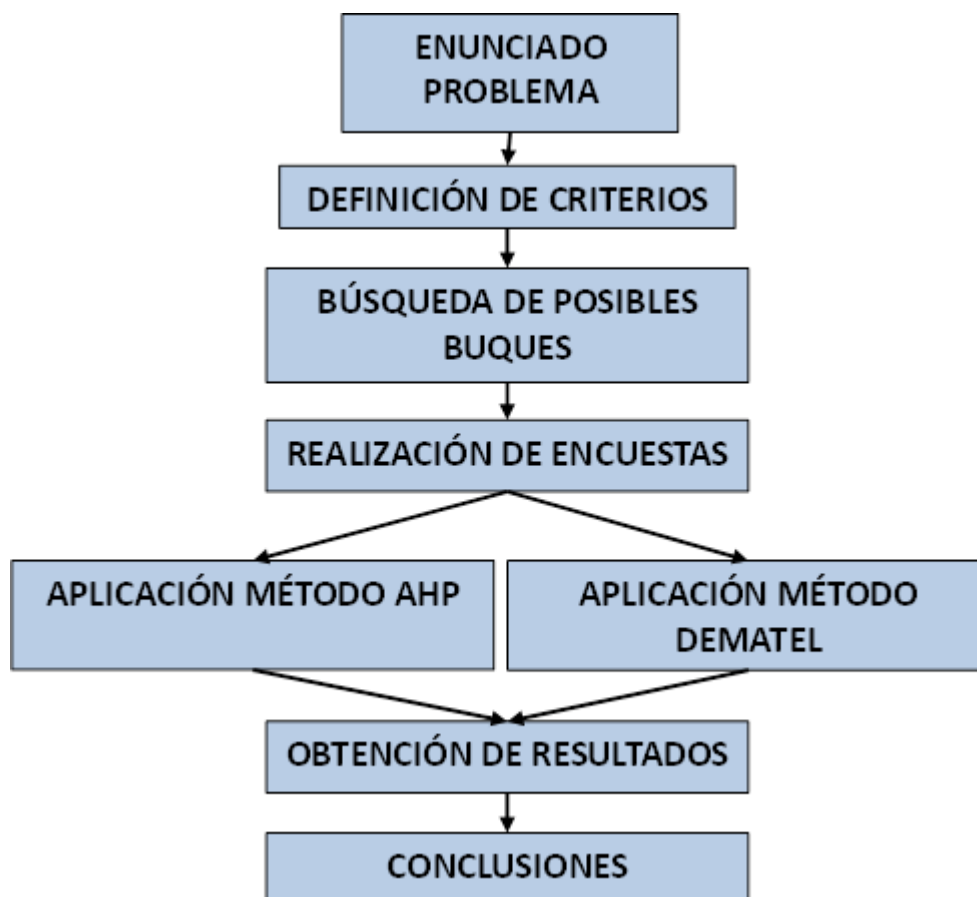


Figura 3-1 Metodología aplicada

3.2 Funcionamiento del Método AHP

En este apartado se explican en detalle los pasos a seguir para la aplicación del método AHP a cualquier caso estudiado.

1. En primer lugar, se debe definir el problema claramente, indicando, como en el ejemplo anterior, el objetivo final, los criterios a tener en cuenta (i) y las diferentes opciones disponibles (j). No puede haber lugar a duda en este apartado, ya que sobre estos principios se basa el desarrollo completo del método y no será posible cambiarlos más adelante, así que conviene realizar los estudios previos pertinentes para asegurarse de que tanto las opciones barajadas como los criterios para la selección son adecuados.
2. El siguiente paso es realizar las Matrices de Comparación por Pares (MCP) (Tabla 3-1 Esquema de una MCP y Ecuaciones (3) y (4)). En primer lugar comparando entre sí los criterios y a continuación una matriz diferente para cada criterio, comparando entre sí las diferentes opciones. [14]

	1	2	3	n
1	1	a_{12}	a_{13}	a_{1n}
2	a_{21}	1	a_{23}	a_{2n}
3	a_{31}	a_{32}	1	a_{3n}
n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	1

Tabla 3-1 Esquema de una MCP

$$N^{\circ} \text{ total de comparaciones} = \frac{n(n-1)}{2} N \quad (3)$$

$$N^{\circ} \text{ mín de comparaciones} = n - 1 \quad (4)$$

3. Para llevar a cabo estas comparaciones, Saaty propone una escala de creación propia (Tabla 3-2) con valores del 1 al 9 para calificar las preferencias de dos elementos, de manera que si la alternativa X es fuertemente preferible respecto a otra alternativa Y, y en base al criterio en cuestión, su puntuación será 5, y por consiguiente, la relación de Y respecto a X será 1/5.

Valor	Planteamiento verbal	Comentarios
9	Extremadamente preferible	La mayor importancia del criterio A sobre el B es irrefutable
7	Muy fuertemente preferible	El criterio de A es mucho más importante que B, demostrado en la práctica
5	Fuertemente preferible	La experiencia y el juicio favorecen claramente al criterio A sobre B
3	Moderadamente preferible	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre B
1	Igualmente preferible	El criterio A es igual de importante que el criterio B
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Tabla 3-2 Escala de Saaty [6]

- El siguiente paso es obtener la suma de cada una de las columnas en cada MCP y, a continuación, sumar todos estos resultados de manera que obtengamos un sumatorio para cada matriz.
- Lo siguiente será obtener el vector de prioridad de cada fila por matriz. Para calcularlo, se divide el sumatorio de cada fila entre el resultado obtenido en el paso anterior para cada matriz. Este vector nos da una idea aproximada de la idoneidad de cada opción para cada criterio, expresado en forma de porcentaje.
- A continuación, se debe estudiar la consistencia de cada MCP, para evaluar la objetividad de la aplicación de las calificaciones numéricas. Esto es especialmente útil a la hora de detectar inconsistencias causadas por errores humanos. [15]

3.3 Funcionamiento del Método DEMATEL

A continuación se detallan los pasos a seguir para la aplicación genérica del método DEMATEL.

- Calcular la matriz media, o Matriz de Relación Directa (A). Se lleva a cabo una encuesta en la que a cada persona u organización se le pide evaluar la influencia directa que un factor tiene sobre otro usando una escala cualitativa de grados de influencia (Tabla 3-3). Se trata de una escala de valores enteros del 0 al 3 inclusive, como se muestra a continuación.

Calificación numérica	Planteamiento verbal
0	Ninguna influencia
1	Influencia baja
2	Influencia moderada
3	Influencia alta

Tabla 3-3 Escala de influencia

2. La notación x_{ij} representa el valor dado por el encuestado acerca de la relación de i respecto a j . Para los casos en los que $i=j$, se dará un valor de 0. Por cada respuesta de la encuesta, se construye una matriz de $n \times n$ de manera que $X^k = [x_{ij}^k]$, donde k es el número de personas que han dado su respuesta y n es el número de criterios a evaluar. Si $1 \leq k \leq H$. Luego $X^1, X^2, \dots, X^H$. son todas las matrices de cada uno de las respuestas. Para tener en cuenta todas las opiniones por igual de los encuestados, se crea la matriz media $A = [a_{ij}]$ (5), donde:

$$a_{ij} = \frac{1}{H} \sum_{k=1}^H x_{ij}^k \quad (5)$$

3. Calcula la Matriz de Relación Directa Normalizada (D), mediante $D = A \times S$ (6), donde:

$$S = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (6)$$

4. Calcular la Matriz de Relación Total (T), donde $T = D(I - D)^{-1}$, siendo I la matriz identidad. r y c son vectores que indican respectivamente la suma de las filas y la suma de las columnas de la matriz T. Digamos que r_i es la suma de la fila i de la matriz T, eso significaría que r_i resume los efectos directos e indirectos que produce el factor i sobre los demás. Por otro lado, si c_j es la suma de la columna j de la matriz T, entonces c_j representa los efectos directos e indirectos que causan otros factores sobre el factor j . De esto se puede deducir que $(r_i + c_j)$ representa el grado de importancia relativa del factor i en todo el sistema, y $(r_i - c_j)$ el nivel de influencia relativa que el factor i causa en el sistema: Si $(r_i - c_j)$ es positivo, i es un “causante”, mientras que si $(r_i - c_j)$ es negativo, se puede decir que i es un “resultado”. [9]
5. Decidir un valor umbral para obtener el diagrama filtrando efectos despreciables. Se construye el gráfico con los valores $(r_i + c_j)$ y $(r_i - c_j)$ para los ejes. Sólo los efectos mayores que el valor umbral son representados en el diagrama. En este estudio, el valor umbral se escogerá como la media de todos los resultados de la matriz T, de manera que solo los que estaban por encima de la media tendrán representación en el gráfico. [16]

3.4 Resumen del problema

A continuación se resume la definición general del problema (Figura 3-3). Aquí se pueden ver en sus diferentes niveles tanto el objetivo final como los cinco criterios a seguir como siete las alternativas planteadas.

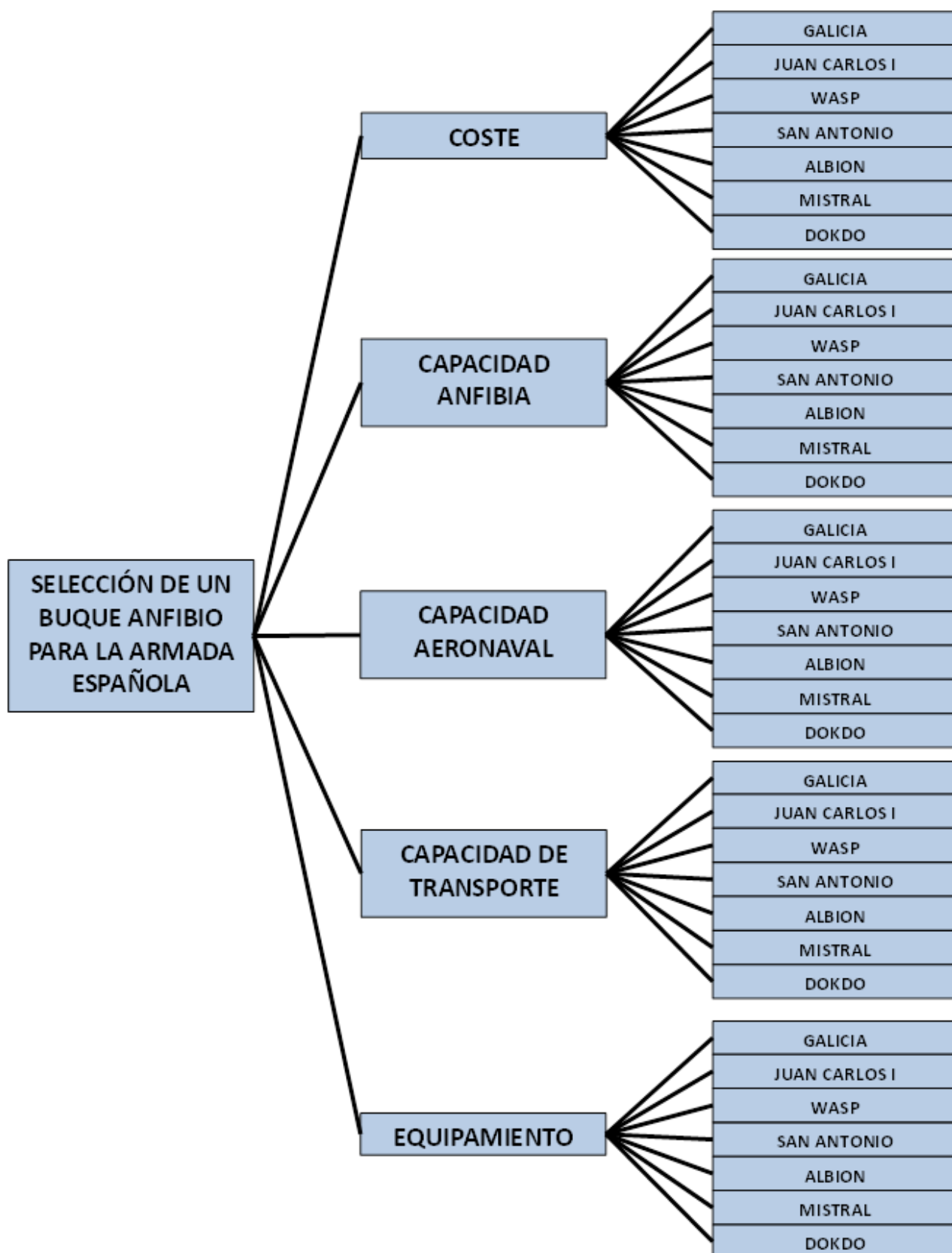


Figura 3-3 Definición del problema

3.5 Buques considerados

3.5.1 Introducción

Para confeccionar esta selección (Tabla 3-4), se llevó a cabo un estudio previo a este trabajo en el que se recopilaban datos sobre todos los buques con capacidad anfibia que se encuentran a día de hoy en servicio en las marinas del mundo.

Se llegó a la conclusión de que los países que originalmente adquieren este tipo de buques con frecuencia los venden a otras marinas menos exigentes o con menos poder adquisitivo cuando se acerca el final de su vida útil. Un ejemplo de esto es el antiguo HMS Ocean de la Marina Británica, que en año 2017 fue vendido a la Marina Brasileña por el precio de 84 millones de libras (frente a los 154 millones que costó originalmente en 1995).

Estos buques “reciclados” son extremadamente comunes, por lo que la búsqueda se centró únicamente en buques que habían sido fabricados originalmente para su actual propietario, quedando descartados aquellos “de segunda mano”. Asimismo, se filtraron de la lista aquellos buques antiguos cuyos astilleros ya han desarrollado la siguiente generación de buque anfibio. Por ejemplo, en el caso de la Clase Wasp, no se considerará su predecesor, el Clase Tarawa. De esta manera se pudo reducir la lista de alternativas únicamente a buques de última generación de diferentes astilleros.

Esto crea una modelo más realista, al estar actualmente abierta la posibilidad de fabricación de cualquiera de los buques elegidos.

Clase	País usuario	Tipo	Astillero
Albion	Reino Unido	LPD	BAE Systems
Galicia	España / Países Bajos	LPD	Navantia
San Antonio	Estados Unidos	LPD	Ingalls Shipbuilding
Juan Carlos I	España/ Australia	LHD	Navantia
Dokdo	Corea del Sur	LHD	HANJIN Heavy Industries
Mistral	Francia/ Egipto	LHD	DNCS
Wasp	Estados Unidos	LHD	Ingalls Shipbuilding

Tabla 3-4 Buques seleccionados

(Para detalles en las características técnicas de cualquiera de estos buques, véase Anexo I: Fichas técnicas de características de buques).

3.5.2 Clase Galicia



Figura 3-4- L51 “Galicia”

Esta clase se compone en la actualidad de dos buques, el “Galicia” (L-51) y el “Castilla” (L-52) con unas ligeras diferencias entre ellos. Cabe reseñar que Holanda también tomó parte en este proyecto, resultando en la construcción conjunta de su buque “Rotterdam” (L-800), en servicio en la Marina Holandesa desde 1998 hasta la actualidad. A efectos prácticos de este estudio, no se considerará este buque debido a su extrema similitud con los de la Clase Galicia.

El Galicia fue construido en los astilleros de Bazán (actual Navantia) de Ferrol en 1997 y entró en servicio en 1999, año en el que se completó la construcción del “Castilla”, que fue puesto en servicio en el año 2000. Desde entonces, ambos han participado en un gran número de operaciones, entre ellas la Operación Romeo Sierra (más conocida como el Incidente de Perejil), numerosos despliegues en la Operación Atalanta de la Unión Europea contra la piratería en el Océano Índico y múltiples misiones humanitarias, como por ejemplo en respuesta al huracán “Mitch” en Centro- América en el año 1998 y el terremoto sufrido por Haití en 2010, pero también en escenarios tan diversos como Albania, Irak o Indonesia, donde han demostrado en numerosas ocasiones su polivalencia al ser utilizados principalmente como buques hospital o de transporte.

La principal diferencia entre el “Galicia” y el “Castilla”, aparte de las pequeñas mejoras introducidas en la habitabilidad fruto de la experiencia con su gemelo, radica en que en 2003 se llevaron a cabo una serie de modificaciones en el “Castilla” de manera que pudiera actuar como Buque de Mando. Esto significa que sus sistemas, principalmente los de comunicaciones son ligeramente más avanzados y en consecuencia, ha perdido cierto espacio que antes se aprovechaba para el transporte de tropas. Estas leves discrepancias apenas son apreciables a la hora de compararlos con otros buques, ya que por lo demás, los dos buques son prácticamente idénticos, y para este trabajo, me referiré a ellos como uno solo (Clase Galicia) [17].

3.5.3 *Juan Carlos I*



Figura 3-5- L61 “Juan Carlos I”

En 2002 se propuso en el Estado Mayor de la Armada el proyecto de Buque de Proyección Estratégica (BPE) que culminaría en 2010 con la puesta en servicio del Juan Carlos I. Se trataba de un proyecto extremadamente ambicioso ya que pretendía construir el buque de guerra más grande operado por la Armada hasta la fecha. Este proyecto supuso al mismo tiempo un diseño innovador a nivel mundial, ya que fue el primer buque de guerra en contar con propulsión eléctrica mediante Pods.

El objetivo era poder sustituir al costoso portaaviones “Príncipe de Asturias” por otro con su misma capacidad aérea y a la vez con una capacidad anfibia comparable o superior a la de la Clase Galicia. El buque, en definitiva, se concibió como una plataforma a polivalente, capaz de la proyección de fuerzas de Infantería de Marina o del Ejército de Tierra, sirviendo al mismo tiempo como plataforma para la aviación embarcada, tanto de helicópteros como de aeronaves de ala fija, en nuestro caso el Harrier AV-8 Bravo o en el futuro posiblemente el JSF F35B gracias al Skyjump construido en su proa. También ha sido comprobada su eficacia para operar con el V-22 “Osprey”, aumentando su interoperabilidad con otras marinas.

El éxito de la construcción de este navío alentó a otras marinas a encargar modelos muy similares a Navantia: dos unidades para Australia, uno para Turquía, y actualmente, se baraja construir cuatro unidades más para la India en colaboración con empresas locales. [18]

3.5.4 Clase Wasp



Figura 3-6 – LHD 8 USS “Makin Island” [19]

La Clase Wasp de la Marina de los Estados Unidos se compone actualmente de 8 buques construidos entre 1985 y 2009. Basados en sus predecesores de la Clase Tarawa, pero con importantes modernizaciones que lo convirtieron en el primer buque capaz de operar simultáneamente con aeronaves de ala fija de despegue vertical (VSTOL por sus siglas en inglés) y con aerodeslizadores (LCAC).

Se trata del buque anfibio más grande del mundo, con un desplazamiento de 42.500 toneladas y una eslora de 258 metros. Este buque proporciona a la US Navy una enorme capacidad de proyección anfibia ya que permite embarcar en su totalidad una Fuerza de Desembarco Expedicionaria de Marines, consistente en torno a 2.000 hombres con todo su equipo.

Sin embargo, es bastante común que en la actualidad estos buques operen cada vez con más frecuencia como portaaviones que como buques de desembarco, ya que su enorme cubierta de vuelo les permite proyectar con facilidad un número enorme de aeronaves. Una configuración típica suele consistir en seis “Harrier” / F35B, cuatro helicópteros de ataque AH-1W “Super Cobra”, doce CH-46 “Sea Knights”, nueve CH-53 “Sea Stallions” y cuatro UH-1N “Twin Hueys”. Alternativamente puede operar con hasta 46 helicópteros medios.

Los buques de esta clase están también diseñados para transportar una fuerza terrestre equilibrada, ya que además del batallón de marines, pueden llevar una gran cantidad de vehículos incluyendo 5 carros de combate M1 “Abrams”, 25 transportes blindados anfibios AAV7A1, 8 cañones de 155mm autopropulsados, 68 camiones de transporte y alrededor de una docena de vehículos de apoyo.

Este buque también puede ser utilizado en respuesta a catástrofes naturales o crisis humanitarias al disponer de un hospital con 600 camas y 6 salas de operaciones.

El mayor inconveniente de estos buques es su desorbitado precio, ya que sin tener en cuenta el desarrollo previo e I+D necesario para el proyecto, la construcción de las últimas unidades costó de media 2.200 millones de dólares cada una (alrededor de 2.000 millones de euros) [19]

3.5.5 Clase San Antonio



Figura 3-7- LPD 20 USS “Green Bay” [20]

Al igual que el “Wasp”, las 11 unidades de la Clase San Antonio fueron construidas sin reparar en gastos, llegando a costar una media de 1.900 millones de dólares cada una. Existen otros 3 buques en construcción actualmente que están costando alrededor de 2.100 millones por unidad.

La construcción de estas unidades comenzó en 2001 para reemplazar a la gran variedad de buques anfibios que en ese momento servían en la US Navy, como los Clase Austin o los Clase Charleston. La idea era crear un buque que unificara la capacidad anfibia de la flota, complementando a la Clase Wasp, de manera que tanto el mantenimiento como el adiestramiento y la doctrina fuera única.

Con 208 metros, tiene una eslora superior a sus rivales europeos y asiáticos, así como un desplazamiento de 25.300 toneladas, también superior que sus competidores.

Se trata de un buque de tipo LPD que dispone del equipamiento más moderno desarrollado, sacrificando capacidad de transporte, tanto de vehículos terrestres como de aeronaves en beneficio de portar los sistemas más punteros, tanto en términos de sensores como de armamento. Este buque destaca en este sentido, portando más armamento defensivo que muchos buques de tipo fragata o corbeta, que en su caso fueron especialmente contruidos y diseñados para al combate.

Una de sus mayores desventajas, además de su desmesurado coste, es el gran tamaño de sus dotaciones, ya que para operar este buque se necesitan un total de 390 personas. En comparación, la fuerza de desembarco de 500 marines que puede transportar no parece tan numerosa.

La principal aeronave a bordo de estos buques es el V-22 “Osprey” debido a su gran capacidad de transporte, es capaz de operar dos de estas aeronaves al mismo tiempo en su cubierta de vuelo, aunque otra gran deficiencia es su carencia de hangar.

Estos buques complementan a la Clase Wasp, ya que estos últimos transportan la mayoría del personal y material, además de aportar su capacidad de ala fija. Por otro lado, debido a lo avanzado de sus sistemas de mando y control y comunicaciones, los Clase San Antonio suelen ser utilizados como buque de mando de agrupaciones o como Estado Mayor flotante. [20]

3.5.6 Clase Albion



Figura 3-8- L14 HMS “Albion” [21]

Los 2 buques pertenecientes a esta clase de LPD, el “Albion” y el “Bullwark” entraron en servicio en la Royal Navy en 2003 y 2004 respectivamente. Sirvieron de sustituto a los veteranos Clase Fearless, los cuales combatieron en la Guerra de las Malvinas (1982).

Estos buques han realizado una gran cantidad de operaciones, destacando el papel principal que tuvo el HMS “Bullwark” en la evacuación de Libia de 2006, donde sus grandes dependencias le permitieron evacuar de Beirut a 1.300 ciudadanos británicos antes de que estallara la guerra civil.

En 2010, el Gobierno Británico decretó que uno de los buques debería estar permanentemente en activo, mientras que el otro es inmovilizado en puerto y se mantiene a la espera, en ocasiones durante años. Esto significa que durante estos largos periodos sin navegar, el buque afectado es constantemente reformado y actualizado, en ocasiones con cambios muy sustanciales, ya sea en su maquinaria, sistemas o incluso en la arquitectura interna del buque, de manera que al final de la inmovilización, el buque se encuentra en perfecto estado para reincorporarse al servicio.

A su vez, tiene una dotación de 325 hombres y mujeres y es capaz de desplegar hasta 405 marines y 65 vehículos mediante 8 embarcaciones en su dique. En comparación con sus competidores se trata de un número bastante bajo de tropa embarcada. A pesar de esto, se trata de unos buques muy polivalentes como ya han demostrado en numerosas ocasiones.

El armamento de estos buques es puramente defensivo ya que tan solo dispone de 2 sistemas CIWS para defensa cercana antimisil. [21]

3.5.7 Clase Mistral



Figura 3-9- L9013 “Mistral” [22]

La Clase Mistral se compone actualmente de 5 unidades de fabricación francesa, tres de las cuales sirven en la Marine Nationale francesa y otros los otros dos en la Marina Egipcia. Aunque en principio se acordó su compra por la Marina Rusa, a raíz de la invasión rusa de la Península de Crimea de 2015, el gobierno francés decidió retirarse del contrato y finalmente fueron vendidos a Egipto.

En 1997, la empresa gala DNCS comenzó a estudiar el desarrollo de un “buque de intervención multipropósito”, para renovar su flota, consistente hasta el momento de dos LPD “Foudre” y dos “Ouragan”. La prioridad de este proyecto era la creación de una plataforma que aumentase sustancialmente la capacidad de despliegue de medios aéreos, por ello se optó finalmente por construir este diseño con cubierta corrida.

Estos buques comenzaron a construirse en 2002. De mucho mayor tamaño y casi el doble de desplazamiento y capacidad que sus predecesores los Clase Foudre, los Mistral pueden portar un batallón de desembarco de 450 soldados, además de 70 vehículos terrestres, 16 helicópteros. Estos buques disponen de un hospital con 69 camas en caso de desplegarse en catástrofes humanitarias.

Finalmente las dos primeras unidades, el “Mistral” y el “Tonnerre”, fueron completadas y puestas en servicio en 2006 y 2007 respectivamente. En 2009 se encargó la construcción del tercer buque de la clase, el “Dixmude”, que fue entregado en 2012.

Desde entonces, estos buques han sido probados en escenarios muy diversos. El “Mistral” participó en operaciones en el Líbano en 2006, donde además de desplegar una gran cantidad de medios en diferentes puntos de las costas del país, llevó a cabo la evacuación de más de 1.300 refugiados. Los demás buques también tomaron parte en la guerra civil de Costa de Marfil, en Libia, en operaciones en el Golfo de Guinea y asistieron a las organizaciones humanitarias cuando en 2008, un huracán devastó Burma. [22]

Este buque compitió con el proyecto español Buque de Proyección Estratégica por el contrato de Australia para la construcción del “Cambera”, así como por un contrato para Turquía, pero finalmente fue el buque español el ganador de ambos concursos. [23]

3.5.8 Clase Dokdo



Figura 3-10- L6111 “Dokdo” [24]

Los buques de esta clase son la respuesta del mercado asiático a sus rivales europeos y americanos, que hasta el momento monopolizaban la industria de construcción de este tipo de barcos. Esta nueva alternativa ha sido tenida en cuenta por otros países de su entorno, como Malasia e Indonesia, que ya han expresado su interés por ellos.

La Clase Dokdo, también llamada LPX, se compone actualmente de dos buques, el “Dokdo” y el “Marado”, aunque la Marina de la República Surcoreana no descarta construir otro en los próximos años. Estos buques se construyeron con 13 años de diferencia entre los dos (2005 y 2018) por lo que el segundo presenta algunas mejoras notables respecto al original, entre otras un mayor espacio en la cubierta de vuelo y un sistema de combate actualizado.

Este gran LHD tiene capacidad de transportar hasta 720 marines y 200 vehículos, con una dotación propia de 300 personas. Además dispone de modernos sistemas de armas de autodefensa, tanto CIWS como RAM, así como un lanzador VLS adaptado para misiles de fabricación coreana.

Este buque es capaz de portar hasta dos aerodeslizadores LCAC para el despliegue rápido de fuerzas en tierra, así como hasta 10 helicópteros, entre los que destaca el V-22 “Osprey” por su capacidad de transporte de tropas y velocidad. Además está previsto llevar a cabo unas reformas para capacitarlo para operar con aeronaves de ala fija, actualmente en la Marina Coreana se utiliza el “Harrier”, pero se está discutiendo su relevo por el F-35B.

La gran ventaja de este buque respecto a la mayoría de sus competidores radica en su reducido precio. Con un coste de 288 millones de dólares, resulta ser, con diferencia, el LHD más barato, manteniendo en principio capacidades similares. [24]

3.6 Características estudiadas

A continuación, se exponen brevemente las características que se han utilizado para comparar entre sí los buques, así como una breve aclaración sobre qué comprende exactamente cada una de ellas.

3.6.1 *Coste*

Característica fundamental, tanto en la adquisición de un buque de guerra como en cualquier otro producto, o a la hora de contratar un servicio. Con coste pretendo englobar no solo el coste unitario de cada buque, sino también el coste de su mantenimiento y de operación (combustible, sueldos, víveres, etc.). Todo esto se verá afectado por un número de subfactores como, por ejemplo, el número de buques construidos hasta la fecha, el tipo de propulsión utilizado en cada uno, la cantidad de dotación necesaria, la capacidad de personal total embarcado, la frecuencia con la que realizar mantenimientos...

3.6.2 *Capacidad anfibia*

Con esto me refiero a la capacidad del buque para proyectar fuerzas sobre tierra, tanto por medios marinos (LCM, LCAC...) como por medios aéreos como helicópteros. Se traduce en la capacidad de poner sobre el terreno la mayor cantidad de fuerza (personal, vehículos y equipos necesarios) en el menor tiempo posible. En esto influyen el tamaño del dique, así como el de la cubierta de vuelo, el tipo y número de embarcaciones y aeronaves que pueden ser operadas simultáneamente desde el buque, la cantidad de soldados, vehículos y otros equipos que pueden viajar a bordo o lo cerca que se puede posicionar el buque de costa.

3.6.3 *Capacidad aeronaval*

Relacionada con la capacidad del buque de albergar, mantener, controlar y operar aeronaves, ya sean de ala fija o helicópteros, drones, etc. Influirá el tipo de aeronaves que puedan operar, el tamaño de la cubierta de vuelo, así como de los hangares en caso de tenerlos. También la capacidad de controlar las aeronaves una vez estas se encuentren en vuelo con eficacia y seguridad o la capacidad de armarlos, repararlos y aprovisionarlos. En este sentido, los buques de tipo LHD serán claramente muy superiores a los de tipo LPD simplemente por su diseño.

3.6.4 *Capacidad de transporte*

Aunque esté fuertemente ligada a las dos características anteriores, la capacidad de transporte se centra en el espacio disponible a bordo, ya sea para personal, material, vehículos o aeronaves. Es indispensable tener en cuenta la capacidad de organizar y reorganizar estos espacios, para lo que serán imprescindibles los elementos de movimientos de cargas, ya sean grúas, elevadores entre cubiertas o raíles. Se tiene en mente también la facilidad de embarcar y desembarcar material desde el muelle, por medio de grúas exteriores, portones, rampas, etc.

3.6.5 *Equipamiento*

Se trata de resumir todo el equipamiento que permite al buque de guerra realizar su función. En este apartado se tiene en cuenta el armamento propio del buque, sus radares y demás sensores, su sistema de combate, sus contramedidas o sus medios de EW.

4 RESULTADOS

4.1 Encuestas realizadas

Para la resolución de estos problemas, se tomó la decisión de llevar a cabo una serie de encuestas. Los resultados de las mismas fueron entonces utilizados para plantear tanto el problema AHP como el DEMATEL. Es por ello que se realizaron dos encuestas diferentes, cada una aplicable a una de las metodologías que se estudiarán en los siguientes apartados.

Para llevar a cabo estas encuestas y obtener una difusión rápida de las mismas, se utilizó la aplicación de “Google Formularios, que a pesar de su facilidad de uso, presentó una serie de inconvenientes sobre las cuales se discutirá más adelante.

4.1.1 Encuesta AHP

La primera encuesta estaba destinada a obtener una primera aproximación del problema, a través de AHP. En ella se pidió a los participantes que evaluaran la importancia relativa de los cinco factores (coste, capacidad anfibia, capacidad aeronaval, capacidad de transporte y equipamiento) comparándolos en parejas. Este formulario resultó muy corto, ya que sólo hacían falta 10 cuestiones para evaluar todas las relaciones. Este aspecto favoreció la participación al poder completarse en menos de 5 minutos sin dificultad. En el momento de clausurar las respuestas para comenzar su recuento y posterior análisis, ya habían contribuido con su opinión 101 personas.

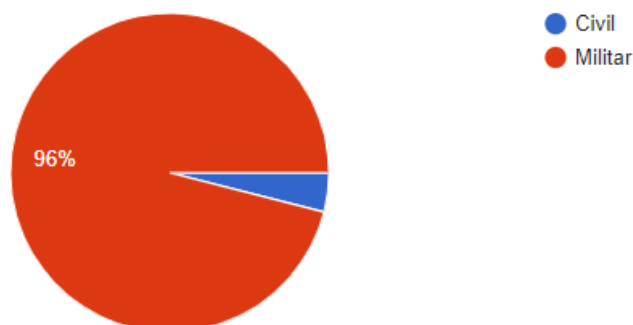


Figura 4-1 Participación Encuesta AHP

Además de ser una muestra poblacional extensa, cabe destacar la gran variedad de personas que participaron, tanto personal civil como militar. En este caso, se obtuvieron respuestas desde Aspirantes de Segundo de la Escuela Naval, (que realizaron el año pasado sus prácticas de fin de curso en el LPD

Castilla), hasta Capitanes de Navío con décadas de servicio en la Armada y valiosos cursos y experiencia en el ámbito de la Guerra Anfibia.

En los siguientes gráficos (Figura 4-2 y Figura 4-4), se utiliza una escala de colores para facilitar su análisis y facilitar la identificación del Cuerpo al que pertenece cada grupo. Los marinos de Cuerpo General se representan con color azul, mientras que los Infantes de Marina en verde, los Ingenieros en rojo y los Intendentes en amarillo.

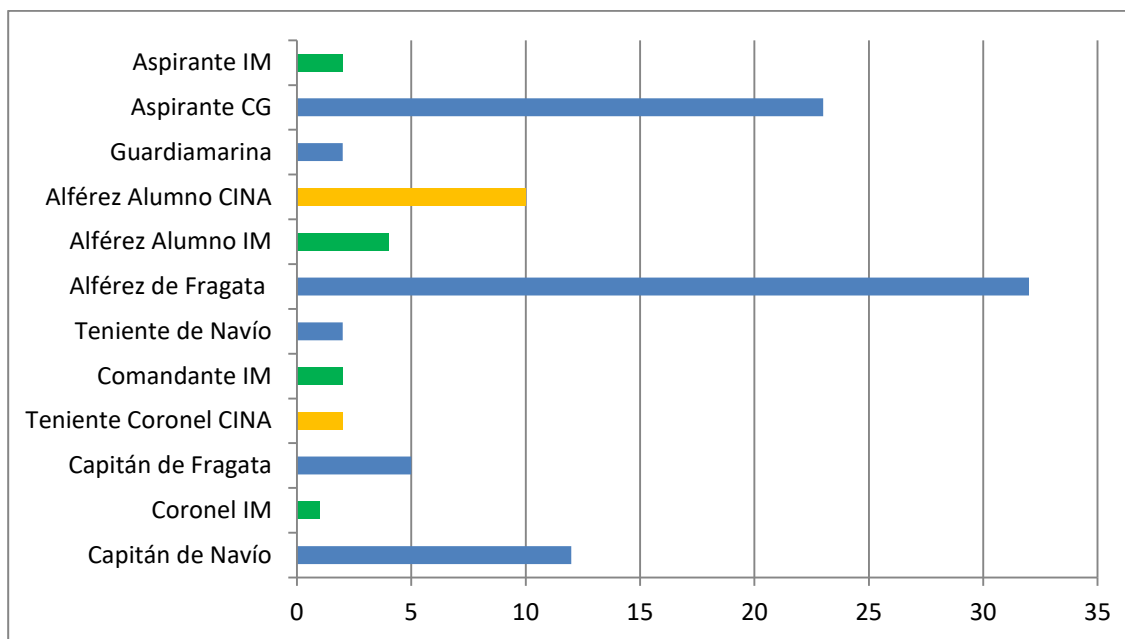


Figura 4-2 Relación participantes militares AHP

Cabe también destacar que debido a la alta participación, se obtuvieron respuestas de miembros pertenecientes a los cuatro cuerpos de la Armada: Cuerpo General, Infantería de Marina, Intendencia e Ingenieros. Resultó de interés plasmar las diferencias en los resultados desde los diferentes puntos de vista. Resultaba lógico pensar de antemano que mientras los marinos de Cuerpo General se centrarían en la elección del buque desde un punto de vista puramente operativo, los Infantes de Marina preferirían un buque centrado en su potencial anfibio, los Intendentes afrontarían el problema desde el punto de vista logístico y los Ingenieros desde un punto de vista más técnico. Más adelante se discutirán los resultados.

Uno de los mayores problemas encontrados a la hora de presentar esta encuesta a los participantes fue elegir la escala a utilizar. Originalmente, Saaty defendía el uso de una escala del 1 al 9, usando sólo los números impares, esto es 1, 3, 5, 7 y 9. Sin embargo esto supuso un problema ya que para comparar dos criterios, habría que dar a los usuarios un total de 10 opciones intermedias entre uno y otro (la escala de Saaty y su inversa). Esto hubiera resultado confuso para los usuarios, además de la imposibilidad técnica de presentar números no continuos en una escala de Google Formularios (obliga a tener una escala 1, 2, 3, 4..., además, no permite introducir fracciones).

Para soslayar esta dificultad, se decidió simplificar al máximo la escala presentada al usuario, dando solo 5 opciones entre las dos características (1, 2, 3, 4, 5). De esta manera se facilitaba la elección, y vista la cantidad de respuestas obtenidas, se puede hacer la conversión de la media de estas sin perder precisión. A continuación (Tabla 4-1 Correspondencia de escalas) se pueden ver las equivalencias entre ambas escalas:

Escala propia	Correspondencia en la Escala Saaty
1	1/9
2	1/5
3	1
4	5
5	9

Tabla 4-1 Correspondencia de escalas

De esta manera, y calculando la media de las respuestas a cada pregunta, se obtiene un valor con el que se puede rellenar la mitad de la Matriz de Comparación Pareada. Para rellenar la otra mitad, simplemente basta con calcular el inverso de las celdas que están enfrentadas y a continuación ya se puede comenzar a resolver el problema con el método AHP

4.1.2 Encuesta DEMATEL

Esta segunda encuesta estaba destinada a conseguir la Matriz de Relación Directa entre los factores estudiados. En este caso, se pidió a los encuestados que resolvieran una serie de cuestiones en las que se reflejaba la influencia que un factor tenía sobre otro. El problema en este caso era que la encuesta debía ser más larga, ya que al contrario que la Matriz de Comparación Pareada en AHP, la Matriz de Relación Directa no es inversamente simétrica. Por ejemplo que A tenga sobre B una influencia de 3 no significa automáticamente que B tenga sobre A una influencia de 1/3.

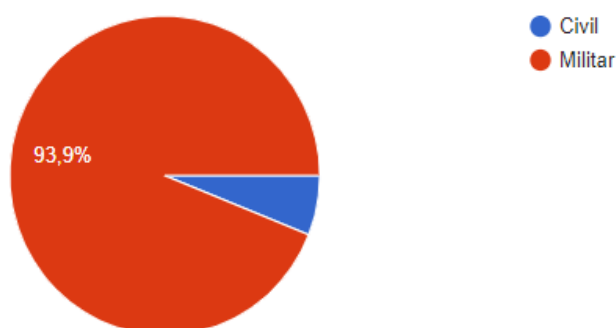


Figura 4-3 Participación Encuesta DEMATEL

Esto resultó ser una dificultad ya que obligaba a plantear al doble de preguntas que en la primera encuesta, ascendiendo a un total de 20 cuestiones para ser capaces cubrir todas las relaciones posibles. Esto hizo la formulación de las preguntas un poco más tediosa la encuesta era más larga y aburrida de rellenar que la anterior, siendo el principal problema la necesidad de preguntar lo que en primera instancia podía parecer lo mismo desde los dos puntos de vista. Esto tuvo un impacto enorme en el número de personas que respondieron la encuesta; tan solo en 33 respuestas en comparación con las 101 de la primera.

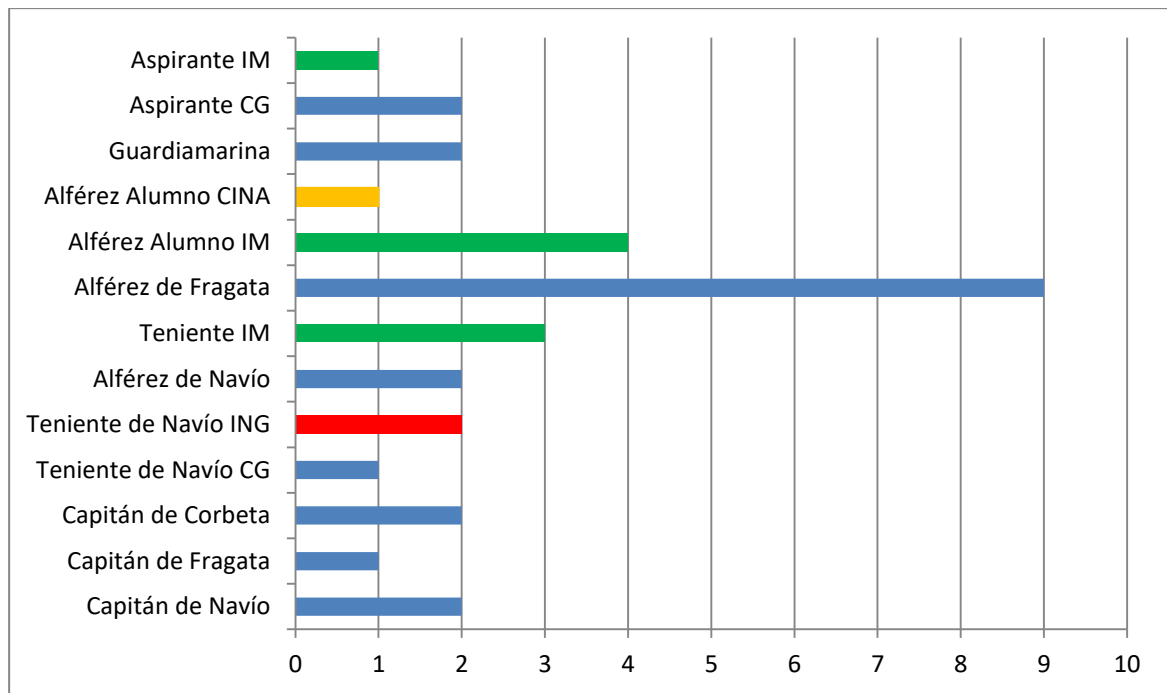


Figura 4-4 Relación de participantes militares DEMATEL

Sin embargo, una ventaja clara de esta encuesta sobre su predecesora fue que aquí no hubo problemas de escala. Al usar para DEMATEL la Escala de Likert (Tabla 3-3), se pudo numerar en Google Formularios la escala correspondiente del 0 al 3 sin ningún problema. De esta manera, nos ahorramos realizar complicadas conversiones a la hora de plasmar los resultados de la encuesta en la Matriz de Relación Directa al comienzo del problema DEMATEL.

4.2 Resolución DEMATEL

4.2.1 Matriz de Relación Directa (A)

Confeccionada a partir del resultado de las encuestas realizadas en la primera fase y explicadas en apartado 3.7. Al existir solo 4 posibles resultados (0, 1, 2 y 3), se ha decidido utilizar la moda de los resultados para cada valor de A. De esta manera, se consiguen aislar los resultados dispersos y no se pierde representación de los valores límites.

Esta matriz (Tabla 4-2) representa la influencia que unos factores ejercen sobre otros. Como se puede ver, la matriz no tiene porqué ser simétrica, al contrario que su correspondiente MCC en AHP.

CRITERIOS	COSTE	CAPACIDAD ANFIBIA	CAPACIDAD AERONAVAL	CAPACIDAD TRANSPORTE	EQUIPAMIENTO	SUMA
COSTE	0	3	3	2	3	11
CAPACIDAD ANFIBIA	2	0	0	1	1	4
CAPACIDAD AERONAVAL	3	1	0	2	2	8
CAPACIDAD TRANSPORTE	2	2	2	0	1	7
EQUIPAMIENTO	3	0	2	0	0	5
SUMA	10	6	7	5	7	

Tabla 4-2 Matriz de Relación Directa, A

Mediante los sumatorios de los resultados por filas y columnas, se escogen los máximos de cada grupo, como se visualiza en la siguiente tabla. A continuación, se calculan los inversos de estos máximos y se escoge el valor más pequeño (S) (Tabla 4-3) (7).

$$S = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (7)$$

MÁXIMOS	10,0000	11,0000
INVERSOS	0,1000	0,0909
S	0,0909	

Tabla 4-3 Cálculo de S

Esta cifra es imprescindible en el siguiente paso, donde se normaliza la Matriz de Relación Directa.

4.2.2 Matriz Relación Directa Normalizada (D)

Para obtener esta matriz (Tabla 4-4), simplemente se ha de multiplicar el menor de los máximos inversos (8) calculado en el último apartado y multiplicarlo por la Matriz de Relación Directa (Tabla 4-2), de manera que:

$$D = A \times S \quad (8)$$

CRITERIOS	COSTE	CAPACIDAD ANFIBIA	CAPACIDAD AERONAVAL	CAPACIDAD TRANSPORTE	EQUIPAMIENTO
COSTE	0	0,2727	0,2727	0,1818	0,2727
CAPACIDAD ANFIBIA	0,1818	0	0	0,0909	0,0909
CAPACIDAD AERONAVAL	0,2727	0,0909	0	0,1818	0,1818
CAPACIDAD TRANSPORTE	0,1818	0,1818	0,1818	0	0,0909
EQUIPAMIENTO	0,2727	0	0,1818	0	0

Tabla 4-4 Matriz Relación Directa Normalizada, D

4.2.3 Matriz Relación (T)

Donde $T = D(I - D)^{-1}$, siendo D la Matriz Relación Directa Normalizada y I la Matriz Identidad.

Esta matriz (Tabla 4-5) muestra tras varias operaciones las relaciones de importancia relativa entre los criterios. Cuanto mayor sea el valor entre un criterio vertical y uno horizontal, mayor será la influencia que el primero tenga sobre el segundo. En general, el criterio vertical que más altos valores tenga, será el más “importante” de todos, al ser el más influyente en el resto.

CRITERIOS	COSTE	CAPACIDAD ANFIBIA	CAPACIDAD AERONAVAL	CAPACIDAD TRANSPORTE	EQUIPAMIENTO	R
COSTE	0,5077	0,5445	0,6006	0,4328	0,6092	2,6948
CAPACIDAD ANFIBIA	0,3677	0,1544	0,1844	0,2053	0,2574	1,1693
CAPACIDAD AERONAVAL	0,6318	0,3642	0,3310	0,3900	0,4829	2,2000
CAPACIDAD TRANSPORTE	0,5037	0,3946	0,4216	0,2041	0,3594	1,8834
EQUIPAMIENTO	0,5261	0,2147	0,4058	0,1890	0,2540	1,5895
C	2,5370	1,6724	1,9436	1,4212	1,9629	

Tabla 4-5 Matriz Relación, T

Para considerar que una relación es significativa, se establece el valor umbral (α) como la media de los valores de la Matriz Relación T (9). De manera que una relación que tenga valor superior al valor umbral se tendrá en cuenta a la hora de plantear el resultado final y una con un valor inferior se desechará.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=j}^n a_{i,j}}{n} \quad (9)$$

Resulta que $\alpha = 0.3815$. Los valores de T superiores a α , se resaltan en verde en la Matriz T.

En la última tabla (Tabla 4-6) se muestran la suma de las filas de T (R), y la suma de las columnas (C). A continuación se realizan las operaciones R+C y R-C, las cuales son necesarias en la confección del gráfico final, que se puede ver en el apartado de resultados (Figura 4-5), ya que R+C será el eje de abscisas y R-C el eje de ordenadas.

Figura 4-5 Resultado DEMATEL

	R	C	R+C	R-C
COSTE	2,6948	2,5370	5,2318	0,1579
CAPACIDAD ANFIBIA	1,1693	1,6724	2,8418	-0,5031
CAPACIDAD AERONAVAL	2,2000	1,9436	4,1435	0,2564
CAPACIDAD TRANSPORTE	1,8834	1,4212	3,3047	0,4622
EQUIPAMIENTO	1,5895	1,9629	3,5524	-0,3734

Tabla 4-6 Relación filas y columnas Matriz T

R se puede definir como el impacto que un factor ejerce sobre los demás, mientras que C es el impacto que los demás factores ejercen sobre él. Es por ello que el sumatorio R+C nos da una idea de la importancia que un factor determinado tiene sobre el modelo.

Por el contrario, la resta R-C nos da un valor absoluto. Si este es positivo, significará que el factor influye más en el resto de factores de lo que estos le influyen a él. Si por el contrario tenemos un valor negativo, significa que el criterio está muy afectado por los demás, pero él no ejerce esa misma sobre los demás.

4.3 Resolución AHP

4.3.1 Matriz de Comparación de Criterios (MCC)

Esta matriz (Tabla 4-7) ha sido construida a partir de la Encuesta AHP explicada en el apartado 3.7. Para rellenar las columnas, se optó por la media de las respuestas de la encuesta para cada pregunta. De esta manera se consigue rellenar la mitad de la tabla. La diagonal principal siempre tiene un valor de 1, ya que este es el valor intermedio de la escala de Saaty (Tabla 3-2). Para la otra mitad de la tabla, basta con calcular el valor inverso de cada celda simétricamente correspondiente desde la diagonal principal.

De esta manera se comparan los diferentes criterios en función de su importancia relativa. Podemos ver que el criterio Coste ya aparece desde el principio como el más importante para los encuestados. Esto no solo concuerda con los resultados de DEMATEL, sino que además tendrá un gran efecto en el resultado final, como veremos más adelante.

CRITERIOS	COSTE	CAPACIDAD ANFIBIA	CAPACIDAD AERONAVAL	CAPACIDAD TRANSPORTE	EQUIPAMIENTO	VECTOR DE PRIORIDAD
COSTE	1	4	4	2	3	40%
CAPACIDAD ANFIBIA	1/4	1	2	1	2	17,857%
CAPACIDAD AERONAVAL	1/4	1/2	1	1/3	1	8,809%
CAPACIDAD TRANSPORTE	1/2	1	3	1	3	24,286%
EQUIPAMIENTO	1/3	1/2	1	1/3	1	9,048%
SUMA	2,333	7	11	4,667	10	100 %
TOTAL SUMA	35					

Tabla 4-7 Matriz de Comparación de Criterios

4.3.2 Matrices de Comparación de criterios por Pares (MCP)

En este segundo apartado, se comparan los diferentes buques propuestos como posibles alternativas. Además de los valores que relacionan unos buques con otros, también observamos en la fila inferior la suma de cada columna y en la última columna el Vector de Prioridad (VP) de cada buque, que es una medida de cuál de las alternativas se adapta mejor al criterio en cuestión. Al igual que el sumatorio de las columnas, será útil en el siguiente apartado para medir la consistencia de cada MCP.

En primer lugar, visualizamos la MCP para el criterio Coste (Tabla 4-8). Como se ha explicado anteriormente, los buques americanos, el “Wasp” y el “San Antonio”, son con diferencia los más costosos de construir (alrededor de 2000 millones cada uno), mientras que tanto los españoles como el surcoreano son los más asequibles. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los costes de mantenimiento y operación de los buques tipo LHD son por lo general mucho mayores que los de los tipo LPD, con lo que finalmente el “Dokdo” se coloca aproximadamente en los valores de sus análogos, el “Juan Carlos I” y el “Mistral”.

Se puede comprobar de nuevo esta diferencia entre los costes de los LHD y los LPD viendo que efectivamente el LPD más costoso no llega al precio de un LHD. Este efecto es debido no solo al mayor tamaño de los LHD, sino también a que la capacidad de operar y mantener aeronaves de ala fija supone un coste añadido, así como el sostenimiento de dotaciones mucho más numerosas.

1. COSTE	WASP	SAN ANTONIO	JUAN CARLOS I	GALICIA	ALBION	MISTRAL	DOKDO	VP
WASP	1	1	1/5	1/9	1/7	1/5	1/5	2,905%
SAN ANTONIO	1	1	1/3	1/9	1/5	1/3	1/3	3,371%
JUAN CARLOS I	5	3	1	1/5	1/3	1	1	11,741%
GALICIA	9	9	5	1	3	5	3	35,630%
ALBION	7	5	3	1/3	1	3	3	22,735%
MISTRAL	5	3	1	1/5	1/3	1	1	11,741%
DOKDO	5	3	1	1/3	1/3	1	1	11,877%
SUMA	33	25	11,533	2,289	5,343	11,533	9,533	100 %
TOTAL	98,232							

Tabla 4-8 MCP, Coste

En segundo lugar, se muestra la MCP de Capacidad Anfibia (Tabla 4-9). Como se puede observar, la capacidad anfibia de un buque, al igual que el coste, es directamente proporcional a su tamaño. Una vez más, los buques de tipo LHD superan en todos los casos a los de tipo LPD en este aspecto, con el “Wasp” una vez más a la cabeza debido al inmenso volumen de su dique, seguido por el “Juan Carlos I”, el “Mistral” y el “Dokdo”, los cuales cuentan con instalaciones muy similares entre sí, y a continuación los LPD, con el “Galicia” a la cabeza, en parte por ser el único de estos últimos con un hangar para helicópteros.

2. CAP. ANFIBIA	WASP	SAN ANTONIO	JUAN CARLOS I	GALICIA	ALBION	MISTRAL	DOKDO	VP
WASP	1	7	3	5	7	3	3	31,40%
SAN ANTONIO	1/7	1	1/5	1/3	1	1/5	1/5	3,33%
JUAN CARLOS I	1/3	5	1	3	5	1	1	17,69%
GALICIA	1/5	3	1/3	1	3	1/3	1/3	8,88%
ALBION	1/7	1	1/5	1/3	1	1/5	1/5	3,33%
MISTRAL	1/3	5	1	3	5	1	1	17,69%
DOKDO	1/3	5	1	3	5	1	1	17,69%
SUMA	2,486	27	6,733	15,667	27	6,733	6,733	100 %
TOTAL	92,352							

Tabla 4-9 MCP, Cap. Anfibia

En tercer lugar, la MCP correspondiente a la Capacidad Aeronaval (Tabla 4-10). Como es lógico, en este caso los LHD superan con un amplio margen a los de tipo LPD. El hecho de tener cubiertas que ocupan toda su eslora con la potencia aérea que esto les brinda, así como la capacidad de operar con aviones de ala fija (al contrario que los LPD que sólo pueden operar helicópteros) permite a los LHD, con el “Wasp” de nuevo a la cabeza con una gran ventaja, sobresalir en este aspecto. Algunos críticos podrían llegar a afirmar que el papel principal de los buques de este tipo, especialmente en tiempo de paz, es proporcionar una plataforma desde la que proyectar unidades aéreas en lugar de estar centrados en la guerra anfibia.

3. CAP. AERONAVAL	WASP	SAN ANTONIO	JUAN CARLOS I	GALICIA	ALBION	MISTRAL	DOKDO	VP
WASP	1	9	3	7	9	3	3	30,804%
SAN ANTONIO	1/9	1	1/7	1/3	1	1/7	1/7	2,529%
JUAN CARLOS I	1/3	7	1	3	7	1	1	17,896%
GALICIA	1/7	3	1/3	1	3	1/5	1/5	6,932%
ALBION	1/9	1	1/7	1/3	1	1/7	1/7	2,529%
MISTRAL	1/3	7	1	5	7	1	1	19,656%
DOKDO	1/3	7	1	5	7	1	1	19,656%
SUMA	2,365	35,000	6,619	21,667	35,000	6,486	6,486	100,000%
TOTAL	113,622							

Tabla 4-10 MCP, Cap. Aeronaval

En cuarto lugar, se tiene la MCP para la Capacidad de Transporte (Tabla 4-11). Esta vez, el Clase Wasp comparte el liderazgo con el “Juan Carlos I”. Esto es debido a que mientras que el Wasp posee una enorme capacidad de carga de vehículos y material gracias al descomunal tamaño de sus garajes, hangares y pañoles, el “Juan Carlos I” compensa siendo el que tiene mayor capacidad de transporte de tropas. De esta manera, los dos quedan empatados a la cabeza, seguidos por el “Dokdo” y el “Mistral”, que una vez más son prácticamente idénticos en este aspecto. Los siguientes son el Galicia y el Albion, con capacidades muy similares, y por último el “San Antonio”, que debido a todos los equipos, armamento y sensores de los que dispone, sacrifica espacio libre para transporte de material y personal.

4. CAP. TRANSPORTE	WASP	SAN ANTONIO	JUAN CARLOS I	GALICIA	ALBION	MISTRAL	DOKDO	VP
WASP	1	7	1	5	5	3	3	26,6%
SAN ANTONIO	1/7	1	1/7	1/3	1/3	1/5	1/7	2,45%
JUAN CARLOS I	1	7	1	5	5	3	3	26,6%
GALICIA	1/5	3	1/5	1	1	1/3	1/3	6,47%
ALBION	1/5	3	1/5	1	1	1/3	1/3	6,47%
MISTRAL	1/3	5	1/3	3	3	1	1	14,5%
DOKDO	1/3	7	1/3	3	3	1	1	16,71%
SUMA	3,210	33,000	3,210	18,333	18,333	8,867	8,810	100%
TOTAL	93,762							

Tabla 4-11 MCP, Cap. Transporte

Como se ha mencionado previamente, el “San Antonio” es con diferencia el buque más avanzado tecnológicamente de los siete. Dispone de un sistema de combate de última generación y de unos sensores y armamento punteros que le permiten defenderse de prácticamente cualquier amenaza casi sin asistencia por parte de las escoltas que suelen proteger a este tipo de buques. En esta categoría le siguen el otro buque americano empatado con el francés, que si bien están más enfocados a la proyección aérea, también disponen de unos sensores y armamento defensivo muy contundente. A continuación se sitúan el resto de buques, en este caso con el “Galicia” a la cola, disponiendo este de un equipamiento muy básico e incapaz de defenderse por sí mismo sin la ayuda de un dispositivo de escoltas (Tabla 4-12).

5. EQUIPAMIENTO	WASP	SAN ANTONIO	JUAN CARLOS I	GALICIA	ALBION	MISTRAL	DOKDO	VP
WASP	1	1/3	3	5	3	1	3	18,45%
SAN ANTONIO	3	1	5	7	5	3	5	32,75%
JUAN CARLOS I	1/3	1/5	1	3	1	1/3	1	7,76%
GALICIA	1/5	1/7	1/3	1	1/3	1/5	1	3,62%
ALBION	1/3	1/5	1	3	1	1/5	3	9,86%
MISTRAL	1	1/3	3	5	5	1	5	22,96%
DOKDO	1/3	1/5	1	1	1/3	1/5	1	4,59%
SUMA	6,200	2,410	14,333	25,000	15,667	5,933	19,000	100,00%
TOTAL	88,543							

Tabla 4-12 MCP, Equipamiento

4.3.3 Consistencia

En este apartado, se evalúa la consistencia de las matrices anteriores. A pesar de que se ha intentado en todo momento hacer una valoración objetiva de los criterios y de las capacidades de cada buque, siempre resulta útil comprobar la consistencia, ya que en ocasiones puede haber fallos en las matrices, en particular debido a errores humanos.

Para ello se han seguido los siguientes pasos:

- 1- Calcular el Valor Máximo de Eigen (λ máx). para ello, hay que volver a las MCC y MCP y sumar el total de las multiplicaciones de cada sumatorio de las columnas por su correspondiente Vector de Prioridad.

Por ejemplo, para la Matriz de Comparación de Criterios, el Valor Máximo de Eigen sería:

$$\lambda \text{ máx} = (2,333 \times 0,40) + (7 \times 0,17857) + (11 \times 0,08809) + (4,667 \times 0,24286) + (10 \times 0,09048)$$

$$\lambda \text{ máx} = 5,1905$$

- 2- A continuación, se ha calculado para cada caso el Índice de Consistencia (CI) (10), donde:

$$CI = \frac{\lambda \text{ máx} - n}{n - 1} \quad (10)$$

Donde n es el número de elementos en la matriz (número de filas/ columnas).

En este caso, para la MCC, el Índice de Consistencia será:

$$CI = \frac{5,1905-5}{4} = 0,047621126$$

3- A continuación, se ha obtenido el Índice Aleatorio (RI), con la siguiente tabla (Tabla 4-13):

NÚMERO DE ALTERNATIVAS	ÍNDICE ALEATORIO (RI)
1	0
2	0
3	0,58
4	0,882
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45

Tabla 4-13 RI

Podemos ver que para la MCC, n= 5 y el valor correspondiente de RI= 1,12. Para las otras cinco MCP, n= 7, luego RI= 1,32.

4- El último paso de este apartado es calcular el Cociente de Consistencia (CR) (11), donde:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (11)$$

Este valor da una idea muy precisa de la consistencia de la matriz. Por lo general, se consideran aceptables los valores menores de 10%.

A continuación se muestran todas las operaciones para hallar el CR de cada matriz:

MCC	
λ máx.	5,190484
CI	0,047621126
RI	1,12
CR	4,25%

Tabla 4-14 Consistencia MCC

COSTE	
λ máx.	7,672177875
CI	0,112029646
RI	1,32
CR	8,49%

Tabla 4-15 Consistencia Coste

CAP. ANFIBIA

λ máx.	7,542848304
CI	0,090474717
RI	1,32
CR	6,85%

Tabla 4-16 Consistencia Cap. Anfibia

CAP. AERONAVAL

λ máx.	7,734598083
CI	0,122433014
RI	1,32
CR	9,28%

Tabla 4-17 Consistencia Cap. Aeronaval

CAP. TRANSPORTE

λ máx.	7,656170645
CI	0,109361774
RI	1,32
CR	8,28%

Tabla 4-18 Consistencia Cap. Transporte

EQUIPAMIENTO

λ máx.	7,731131906
CI	0,121855318
RI	1,32
CR	9,23%

Tabla 4-19 Consistencia Equipamiento

Se puede comprobar que en efecto, todos los Cocientes de Consistencia son menores del 10%, por ello se puede afirmar que los errores humanos cometidos durante los cálculos no han sido significativos y que por lo tanto el estudio se ha llevado a cabo con un grado de objetividad satisfactorio.

4.3.4 Matriz de Prioridad Global

En esta última matriz (Tabla 4-20) antes de llegar a los resultados, se aprecia, en primer lugar, la importancia relativa de cada criterio. Se puede ver que un coste reducido es con diferencia la cualidad que más preocupa a los encuestados, seguido, aunque con bastante diferencia, por la Capacidad de Transporte. El último lugar está disputado entre el Equipamiento y la Capacidad Aeronaval. Curiosamente, los encuestados no le dieron demasiada importancia a esta última característica.

	COSTE	CAP. ANFIBIA	CAP. AERONAVAL	CAP. TRANSPORTE	EQUIPAMIENTO
PRIORIDAD	40,000%	17,857%	8,809%	24,286%	9,048%
WASP	2,905%	31,40%	30,804%	26,66%	18,45%
SAN ANTONIO	3,371%	3,33%	2,529%	2,45%	32,75%
JUAN CARLOS I	11,741%	17,69%	17,896%	26,66%	7,76%
GALICIA	35,630%	8,88%	6,932%	6,47%	3,62%
ALBION	22,735%	3,33%	2,529%	6,47%	9,86%
MISTRAL	11,741%	17,69%	19,656%	14,58%	22,96%
DOKDO	11,877%	17,69%	19,656%	16,71%	4,59%
TOTAL	100,000%	100,000%	100,000%	100,000%	100,000%

Tabla 4-20 Matriz de Prioridad Global

Además, en esta tabla se muestra a modo de resumen la última columna de cada MCP, de manera que se aprecia de forma rápida cual es el buque mejor dotado para cada característica. A primera vista ya se puede apreciar que el Clase Wasp domina en casi todos los frentes, pero que sin embargo sale muy mal parado en el apartado Coste, donde el claro ganador es el “Galicia”.

4.4 Elección final

4.4.1 Resultados DEMATEL

En este gráfico (Figura 4-5) se pueden ver las relaciones interdependientes entre las cinco características estudiadas. Tal y como vimos en el apartado 3.7.3, en el eje de abscisas se representa la suma $R+C$, mientras que en el eje de ordenadas se representa la resta $R-C$.

Conviene recordar que $R+C$ da una idea de la importancia que tiene un criterio en comparación con los demás. Cuanto más alto este valor, mayor importancia relativa. Por ello el criterio más importante, al ser a la vez el más influyente y el más influido es claramente el Coste, al situarse a la derecha del gráfico. En el otro extremo tenemos el factor menos importante, que es la Capacidad Anfibia.

Por otro lado, el eje de ordenadas viene representado por la relación $R-C$. Cuando este valor es positivo, significa que el valor en cuestión influye activamente en los otros. Si por el contrario son los otros los que ejercen su influencia sobre él, la resta dará como resultado un número negativo. En este caso es de nuevo la Capacidad Anfibia la que en este caso, no ejerce gran influencia sobre el resto pero es fuertemente afectada por ellos. En el extremo superior del gráfico se sitúa la Capacidad de Transporte, por lo que se deduce que esta afecta fuertemente al resto mientras que el resto le influye en menor medida.

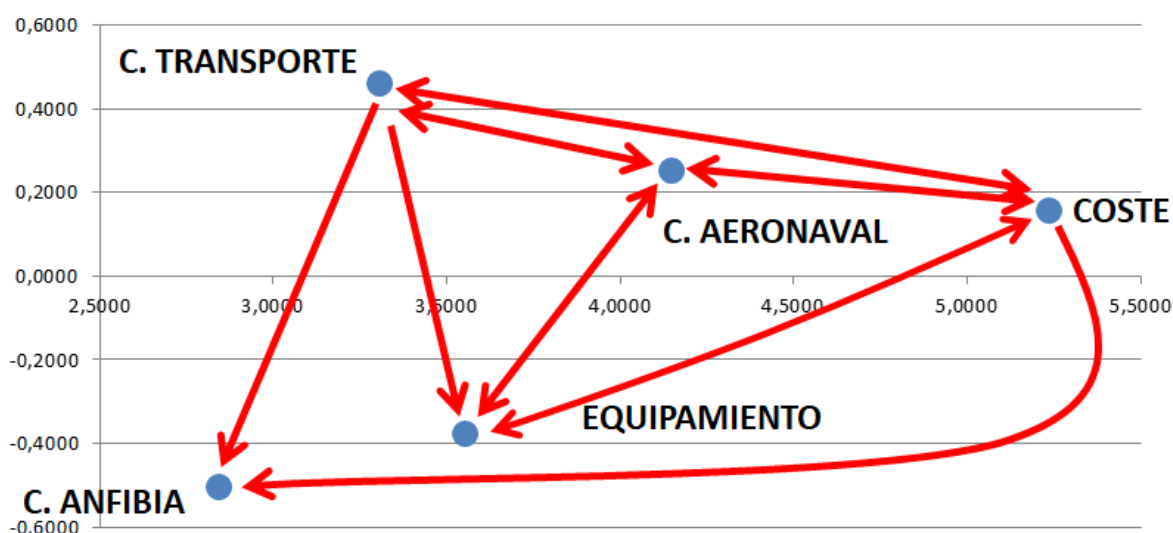


Figura 4-5 Resultado DEMATEL

También en el apartado anterior se calculó el valor umbral para que una relación fuese relevante. A continuación las relaciones que se consideraban relevantes se resaltaron en verde en la Matriz Relación final. En el gráfico podemos ver representadas esas relaciones “importantes” con las flechas que unen criterios, si una flecha sale de un criterio, por ejemplo Equipamiento y llega hasta Capacidad Aeronaval, esto significa que el Equipamiento que monte el buque tendrá una gran influencia en su capacidad para operar aviones y helicópteros (Figura 4-5 Resultado DEMATEL).

Con un breve vistazo se aprecia claramente que el Criterio Coste afecta fuertemente a todas y cada una de las demás características. Es por ello la más influyente y se podría decir que la más importante. Esto se ve reflejado en la resolución con AHP, ya que una vez más, el Coste es el criterio que más peso tiene a la hora de tomar la decisión.

Sin embargo, se puede inferir del gráfico que la Capacidad Anfibia no es prácticamente relevante para el estado del resto de factores, aunque es afectada a su vez por Capacidad de Transporte y el Coste.

4.4.2 Resultados AHP

En la Figura 4-6 se muestra el resultado final con AHP. Según los criterios analizados, la mejor opción de buque anfibio para incorporar a la flota ya existente sería construir otro Clase Galicia. Este resultado se debe en gran medida a su bajo coste, ya que este fue con diferencia el factor más determinante, ya que el “Galicia” es la más barata de las siete opciones. Sin embargo, no es la única razón. También ha influido, aunque en menor medida, la capacidad aeronaval que le proporciona su hangar, al contrario que los otros LPD, el “Albion” y el “San Antonio” que no disponen de uno.

La capacidad de transporte fue el segundo factor más importante a tener en cuenta. En este aspecto, el “Galicia” se muestra fuerte frente a sus competidores LPD, aunque por razones de tamaño y diseño, no puede competir con los buques de tipo LHD.

En segundo lugar, y muy cerca de la primera posición, queda el “Wasp”. El hecho de ser con diferencia el buque más grande del grupo le otorga una gran ventaja en casi todos los campos, superado solo por la modernidad del “San Antonio” en la característica Equipamiento. Este buque podría haber sido el claro ganador si no fuese por su desorbitado precio. Con un coste de adquisición superior a 2.000 millones de euros, es once veces más caro que un Clase Galicia. Por lo que a pesar de tratarse sin duda de un buque formidable y con unas capacidades enormes, queda relegado al segundo puesto.

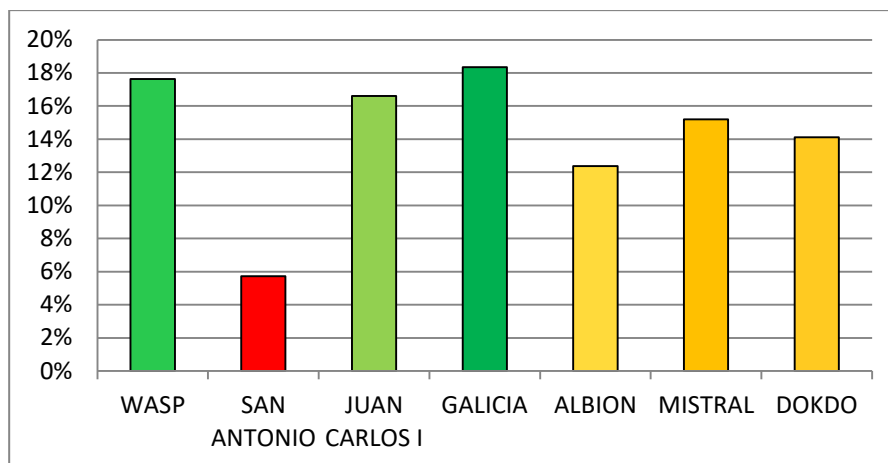


Figura 4-6 Resultados AHP

En tercer lugar, tenemos al “Juan Carlos I”, sus superiores capacidades respecto a sus rivales europeos y asiáticos son en parte debidas a su tamaño ligeramente mayor. Esto, combinadas con su precio moderado y el hecho de que puede operar aeronaves de ala fija como el “Harrier” o el F35, lo sitúan por delante de sus rivales más directos.

A continuación se encuentran el “Mistral”, el “Dokdo” y el “Albion”, en ese orden y muy ajustados. Todos tienen ventajas y desventajas, pero sin llegar a sobresalir en ningún aspecto, son barcos equilibrados que cumplen bien su misión, pero al final, la imposibilidad de operar aeronaves de ala fija en el “Dokdo” y el “Mistral” y la carencia de hangar del “Albion” los sitúan en esta posición.

Por último, y con una amplia diferencia, tenemos al Clase San Antonio. Es el más caro de los siete, comparable al “Wasp” a pesar de ser relativamente pequeño y poco espacioso, por otro lado tampoco dispone de hangar. A su favor se puede decir que en términos de equipamiento, es muy superior a cualquier otro LPD e incluso a la mayoría de los LHD, exceptuando quizás al Clase Wasp. Tiene una potencia de fuego comparable a la de una fragata y sus sensores y sistema de combate son con diferencia los mejores del grupo. Sin embargo todo esto no puede contrarrestar el hecho de que por el mismo precio de un Clase San Antonio, se pueden fabricar doce Clase Galicia.

Como conclusión, se puede afirmar que en la Armada Española se le da una gran importancia al coste de sus unidades. En el caso de la elección de un buque anfíbio, la mejor opción sería encargar a Navantia la construcción de otro Clase Galicia, ya que además de ser un buque con un coste muy asequible, se trata de un barco con unas capacidades muy equilibradas.

4.5 Consideraciones adicionales

AHP es un método objetivo, que sobre una base matemática trata de presentar una solución a un problema. El principal problema radica en el comienzo del problema, donde hay que construir la Matriz de Comparación de Criterios a partir de las opiniones de grupos de interés o de un estudio previo. En este caso, se puede pensar que según a quien se pregunte, le dará más importancia a un factor u otro.

En este caso, la encuesta realizada iba dirigida a oficiales de la Armada de diferentes cuerpos y graduación. En concreto, se podría pensar que existirán diferencias en las respuestas si son analizados por separado las de personal de diferentes cuerpos.

En este caso, cabe la posibilidad de que los Oficiales de Cuerpo General le diesen más importancia a criterios operativos como el Equipamiento del buque, mientras que los de Infantería de Marina se decantasen por la Capacidad Anfibia y los de Intendencia, al estar su trabajo más centrado en la logística, prefiriesen una mayor capacidad de transporte.

Para comprobar esta hipótesis, se decidió, una vez terminado el estudio con AHP, filtrar los resultados en función al Cuerpo de la Armada al que pertenecía cada encuestado (Figura 4-7), este fue el resultado:

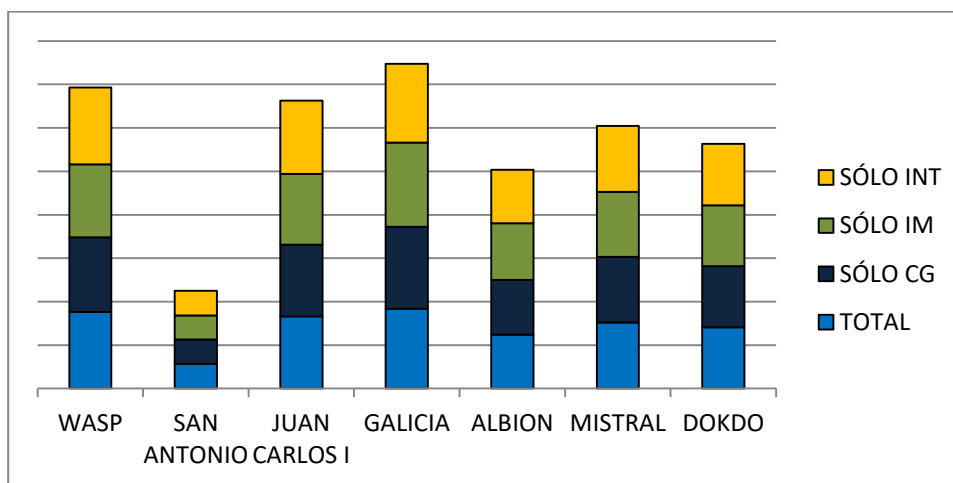


Figura 4-7 Resultados AHP por Cuerpos

Se puede observar que la hipótesis planteada era incorrecta. A pesar de existir ciertas diferencias en las preferencias entre Cuerpos, éstas resultan ser mínimas, ya que en los tres casos se llega al mismo resultado para el cómputo total de la encuesta, siendo el orden de preferencia de los barcos presentados el mismo, con resultados tan similares que resulta difícil distinguirlos entre ellos. Esta homogeneidad es en parte debida a la gran cantidad de respuestas registradas a la encuesta.

Esto muestra con claridad la concienciación que existe actualmente entre el personal de la Armada sobre la necesidad de aprovechar de la manera más eficiente el presupuesto destinado.

Otros factores que pueden afectar a la decisión, además de las ventajas de potenciar la industria naval nacional, que ya han sido mencionadas, podrían incluir acuerdos internacionales, la participación en proyectos conjuntamente con otras naciones u organizaciones, o la situación geopolítica reinante en el momento.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones Finales

Tras este estudio, se ha podido comprobar la efectividad de los métodos DEMATEL y AHP y se puede afirmar que podrían resultar muy útiles para asistir a la Armada en la toma de decisiones en un amplio abanico de escenarios.

En este TFG se han aplicado con éxito ambas técnicas a la adquisición de un buque anfibio para la Armada Española. Para ello, ha sido necesario, en primer lugar, identificar y analizar cinco criterios con el método DEMATEL, y una vez probada la importancia relativa y las influencias que ejercen unos sobre otros, se ha recurrido al método AHP para proceder a la selección de una de las siete alternativas de buques presentados.

El resultado obtenido ha sido congruente con lo esperado, todo ello a pesar de haber analizado solo cinco criterios y siete alternativas y contando con el conocimiento y la experiencia de otros oficiales y propia. Por supuesto, este caso es solo un ejemplo de la utilidad que podrían tener estos métodos si se dedicase a ellos una cantidad mayor de recursos y personal.

Estos métodos tienen mucho potencial, prueba de ello es que la gran mayoría de empresas de primer nivel están empezando a implementarlos progresivamente con mucho éxito. Es por ello que debería empezar a contemplarse su utilización en más ámbitos del Ministerio de Defensa y de la Armada.

5.2 Líneas Futuras

Una de las primeras dificultades encontradas durante el desarrollo de este trabajo fue la necesidad de realizar todos los cálculos relacionados con la resolución de los diferentes métodos desde cero. Para ello fue necesaria la utilización de un gran número de hojas de cálculo del programa Microsoft Excel.

Sin embargo, una desventaja de la solución adoptada es que los cálculos fueron específicamente diseñados para este problema concreto (la selección de un buque anfibio para la Armada). Y aunque podrían servir de base en caso de querer utilizarlos para resolver un problema distinto, habría que realizar modificaciones importantes en todos los niveles.

Es por ello que si estos métodos de decisión fueran a ser adoptados e integrados en la Armada, se recomendaría la creación de una herramienta informática única que permitiese aplicar de manera rápida y eficaz los métodos DEMATEL y AHP a cualquier problema que se pueda plantar en el futuro.

Esta herramienta facilitaría enormemente el análisis de las alternativas en función de los criterios, ya que esto se haría de manera automática. Finalmente, esto se traduciría en el ahorro de mucho

tiempo y esfuerzo a aquellas personas encargadas de la gestión de las decisiones, aumentando así la eficacia general de la organización.

5.3 Cumplimiento de objetivos

Se puede afirmar que se han cumplido los objetivos planteados al inicio de este TFG.

En primer lugar, se han explicado en qué consisten los Métodos de Decisión Multicriterio y se ha analizado tanto su estado actual como su evolución

A continuación, se han explicado tanto los métodos de toma de decisiones en las Fuerzas Armadas como los organismos encargados de esta tarea, centrándose en particular en la Armada.

Finalmente se han puesto en práctica los dos métodos principales analizados, comprobando su funcionamiento y determinado su potencial utilidad para la toma de decisiones en la Armada.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. C. Gainza, Desde 1537: historia de la Infantería de Marina más antigua del mundo, 2017.
- [2] L. M. Francisco, Nuestro día en Alhucemas, StuG3, 2008.
- [3] B. Vitoriano, Teoría de la Decisión: Decisión con Incertidumbre, Decisión Multicriterio y Teoría de Juegos, Universidad Complutense de Madrid, 2007.
- [4] S. Teruel, «Las ocho etapas en el proceso de toma de decisiones de la empresa,» 5 6 2014. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/334648707/8-Etapas-Para-La-Toma-de-Decisiones>. [Último acceso: 14 2 2019].
- [5] H.-H. W. y. Y.-N. Tsai, «An integrated approach of AHP and DEMATEL methods in evaluating the criteria of auto spare parts industry,» Department of Business, National Changhua University, 2010.
- [6] Saaty, The Analytical Hierarchy Process, 1980.
- [7] M. H. y. H. G., Gis Based Analysis For Suitability Location Finding In the Residential Areas Of Greater Matara Region, International Journal of Scientific and Technology Research, 2015.
- [8] S. R. y. R. Akarte, «Web Casting Supplier Evaluation Using AHP,» *Journal of the Operational Research Society* 52, pp. 511-522, 2001.
- [9] K. Kashi, «Utilizing DEMATEL Method in Competency Modeling,» 2014.
- [10] E. N. D. M. P. N. R. M. C. D. G. Juliana Sern, «Mutli- criteria decision analysis for the selection of sustainable chemical process routes during early design stages,» *Elsevier*, n° 113, pp. 28-49, 2016.
- [11] J. M. M. Ruiz, «Eficiencia en el seguimiento de programas. El método del valor ganado,» Curso de Estado Mayor de la Armada, 2016.
- [12] Armada Española, «Metodología de Gestión de Proyectos en la Armada,» 2017.
- [13] Armada Española, «Organización del Estado Mayor de la Armada,» 2016.

- [14] J. Martínez-Gómez, «Uso de Métodos Multicriterio de toma de decisiones para la selección de biomasa en reactores Fischer Tropsch,» *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, nº 15, Marzo 2016.
- [15] K. Teknomo, «Analytic Hierachy Process (AHP) Tutorial,» 2015.
- [16] C. y. C. Liou, «Airline Safety Measurement Using a Hybrid Model,» *Journal of Air Transport Management* 13, pp. 243-249, 2007.
- [17] «Buques de superficie: Armada Española,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/refLang-es/03Buquesanfibios--01buque-asalto-anfibio-galicia-l-51>. [Último acceso: 18 Febrero 2019].
- [18] «Buques LHD: Juan Carlos I: Armada Española,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/refLang-es/02lhd-juan-carlos-i>. [Último acceso: 11 Febrero 2019].
- [19] «Fact File: The Amphibious Ships: US Navy,» 2018. [En línea]. Available: https://www.navy.mil/navydata/fact_display.asp?cid=4200&tid=400&ct=4. [Último acceso: 15 Febrero 2019].
- [20] «Fact File: Amphibious Transport Dock: US Navy,» 2018. [En línea]. Available: https://www.navy.mil/navydata/fact_display.asp?cid=4200&tid=600&ct=4. [Último acceso: 15 Febrero 2019].
- [21] «Royal Navy UK: Landing Platform Dock,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.royalnavy.mod.uk/the-equipment/ships/assault/landing-platform-dock>. [Último acceso: 16 Febrero 2019].
- [22] «Ministère des Armées; Marine Nationale: Forces de Surface,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.defense.gouv.fr/marine/operations/forces/force-d-action-navale/forces-de-surface/forces-de-surface>. [Último acceso: 17 Febrero 2019].
- [23] «Military Factory: French Navy,» 2017. [En línea]. Available: https://www.militaryfactory.com/ships/detail.asp?ship_id=FS-Tonnere-L0914. [Último acceso: 17 Febrero 2019].
- [24] 2009. [En línea]. Available: <https://www.buquesdeguerra.es/es/corea-del-sur/lph-clase-dokdo>.
- [25] IHS, *Jane's Fighting Ships*, 2018.
- [26] «Web de La Moncloa,» [En línea]. Available: <http://www.lamoncloa.gob.es>. [Último acceso: 13 enero 2015].
- [27] J. Rodríguez y V. Fernández, *Cómo redactar el estado del arte de un trabajo*, Editorial Genios, 2010.
- [28] P. Martínez y A. García, *Cómo escribir una buena memoria de TFG*, Publicaciones del 2000, 2013.
- [29] A. Pérez, *Cómo escribir una bibliografía*, Nuevas publicaciones.
- [30] V. y. Kumar, «Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications,» *European Journal of Operational Research*, 169, pp. 1-29, 2006.

ANEXO I: FICHAS TÉCNICAS DE CARACTERÍSTICAS DE BUQUES

Clase Galicia	 Figura 0-1 Clase Galicia
Desplazamiento	13.100 Tns
Eslora	160 m
Manga	25 m
Velocidad máxima	20 nudos / 37,0 km/h
Autonomía	6.500 Millas náuticas/ 12038 km a 12 nudos / 22,2 km/h
Propulsión	4 Motores diesel (5.500 HP/ 4.100 kW cada uno)
Dotación	190
Capacidad máxima de personal	615
Superficie de cubierta de vuelo	1.340 m ²
Superficie de cubiertas de transporte	1.010 m ²
Superficie de hangar	510 m ²
Superficie de dique inundable	885 m ²
Armamento	2 Ametralladoras OERLIKON de 20 mm 4 Ametralladoras Browning de 12,7 mm 3 Ametralladoras MG de 7,62 mm
Capacidad VSTOL	Solo en caso de emergencia.
Coste	180 Millones €

Tabla 0-1 Características Clase Galicia [25]

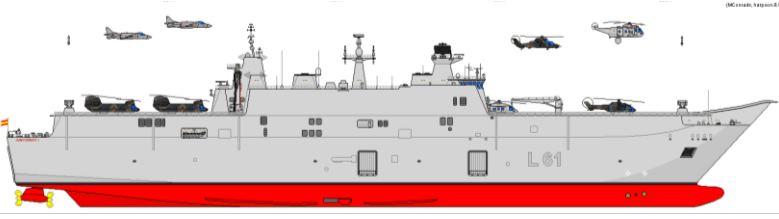
Clase Juan Carlos I	 Figura 0-2 Clase Juan Carlos I
Desplazamiento	27.000 Tns
Eslora	231 m
Manga	32 m
Velocidad máxima	21 nudos / 38,9 km/h
Autonomía	9.000 millas náuticas/ 16.668 km a 15 nudos / 27,8 km/h
Propulsión	1 Turbina de gas (19.750 HP/ 14.730 kW) 2 Diesel generadores (7.860 HP/ 5.860 kW cada uno)
Dotación	247
Capacidad máxima de personal	1.188
Superficie de cubierta de vuelo	5.440 m ²
Superficie de cubiertas de vehículos	8.275 m ²
Superficie de hangar	985 m ²
Superficie de dique inundable	1.165 m ²
Armamento	4 Ametralladoras Browning de 12,7 mm Previsto instalar un sistema ESSM o RAM
Capacidad VSTOL	Si
Coste	400 Millones €

Tabla 0-2 Características Juan Carlos I [25]

Clase Wasp	 Figura 0-3 Clase Wasp
Desplazamiento	42.500 Tns
Eslora	258 m
Manga	32 m
Velocidad máxima	24 nudos / 44,5 km/h
Autonomía	10.500 millas náuticas/ 19.500 km a 15 nudos/ 27,8 km
Propulsión	2 Turbinas de gas (35.000 HP/ 26.100 kW cada una) 6 Diesel generadores (5.360 HP cada uno)
Dotación	1.070
Capacidad máxima de personal	1.900
Superficie de cubierta de vuelo	8.288 m ²
Superficie de cubiertas de transporte	4.718 m ²
Superficie de hangar	1.352 m ²
Superficie de dique inundable	2.950 m ²
Armamento	2 Mk- 29 NATO Sea Sparrow 2 RIM-116 RAM 3 CIWS Mk- 15 Mod 2 Phalanx de 30 mm 4 BAE Mk- 38 de 25 mm
Capacidad VSTOL	Si
Coste	2.000 Millones €

Tabla 0-3 Características Clase Wasp [25]

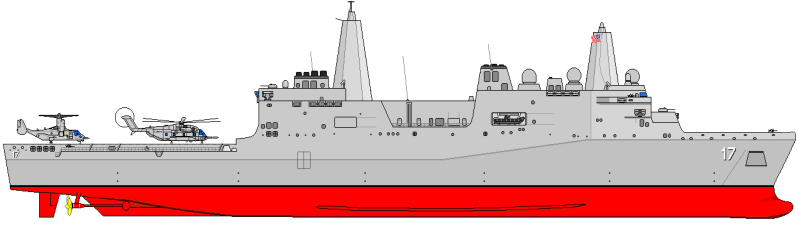
Clase San Antonio	 Figura 0-4 Clase San Antonio
Desplazamiento	25.300 Tns
Eslora	208 m
Manga	32 m
Velocidad máxima	22 nudos/ 40.7 km/h
Autonomía	6.000 millas náuticas/ 11.112 km a 15 nudos/ 27,8 km/h
Propulsión	4 Motores diesel (10.400 HP/ 7.760 kW cada uno)
Dotación	354
Capacidad máxima de personal	500
Superficie de cubierta de vuelo	1.250 m ²
Superficie de cubiertas de transporte	2.323 m ²
Superficie de hangar	0 m ²
Superficie de dique inundable	950 m ²
Armamento	2 CIWS Bushmaster de 30 mm 2 RIM-116 RAM 2 Mk- 41 VLS para ESSM 4 Ametralladoras Browning de 12,7 mm
Capacidad VSTOL	No
Coste	1.950 Millones €

Tabla 0-4 Características Clase San Antonio [25]

Clase Albion	 Figura 0-5 Clase Albion
Desplazamiento	19.500 Tns
Eslora	176 m
Manga	29 m
Velocidad máxima	18 nudos/ 33,3 km/h
Autonomía	8.000 millas náuticas/ 14.820 km/h a 15 nudos/ 27,8 km/h
Propulsión	4 Diesel generadores (6.700 HP/ 5.000 kW cada uno)
Dotación	325
Capacidad máxima de personal	405
Superficie de cubierta de vuelo	1.150 m ²
Superficie de cubiertas de transporte	1.020 m ²
Superficie de hangar	0 m ²
Superficie de dique inundable	1.300 m ²
Armamento	2 CIWS Phalanx de 30 mm 4 Ametralladoras Browning de 12,7 mm
Capacidad VSTOL	No
Coste	225 Millones €

Tabla 0-5 Características Clase Albion [25]

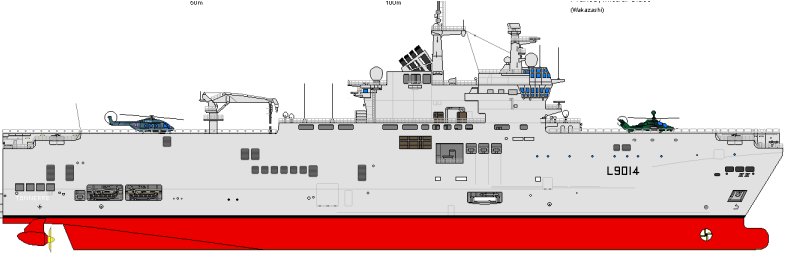
Clase Mistral	 Figura 0-6 Clase Mistral
Desplazamiento	21.300 Tns
Eslora	199 m
Manga	32 m
Velocidad máxima	19 nudos/ 35.2 km/h
Autonomía	10.700 millas náuticas/ 19.820 km a 15 nudos/ 27,8 km/h
Propulsión	2 Motores diesel (9.500 HP/ 7100 kW cada uno)
Dotación	160
Capacidad máxima de personal	900
Superficie de cubierta de vuelo	5.000 m ²
Superficie de cubiertas de transporte	2.650 m ²
Superficie de hangar	1.400 m ²
Superficie de dique inundable	885 m ²
Armamento	2 Lanzadores MBDA Simbad 2 Breda Mauser de 30 mm 4 Ametralladoras Browning de 12,7 mm
Capacidad VSTOL	No
Coste	520 Millones €

Tabla 0-6 Características Clase Mistral [25]

Clase Dokdo	 Figura 0-7 Clase Dokdo
Desplazamiento	18.800 Tns
Eslora	199 m
Manga	31 m
Velocidad máxima	22 nudos / 40,7 km/h
Autonomía	8.000 millas náuticas/ 14.820 km a 12 nudos /22,2 km/h
Propulsión	4 Diesel generadores (8.000 HP/ 5970 kW cada uno)
Dotación	300
Capacidad máxima de personal	700
Superficie de cubierta de vuelo	4.950 m ²
Superficie de cubiertas de transporte	2.450 m ²
Superficie de hangar	1.745 m ²
Superficie de dique inundable	865 m ²
Armamento	1 RIM- 116 RAM 2 CIWS Goalkeeper de 30 mm
Capacidad VSTOL	No
Coste	253 Millones €

Tabla 0-7 Características Clase Dokdo [25]

ANEXO II: CÁLCULOS DE MICROSOFT EXCEL

En primer lugar, se muestran los cálculos correspondientes al método AHP, seguidos por los correspondientes al método DEMATEL.

CRITERIOS	COSTE	CAPACIDAD ANFIBIA	CAPACIDAD AERONAVAL	CAPACIDAD TRANSPORTE	EQUIPAMIENTO	VECTOR DE PRIORIDAD
COSTE	1,00	4,00	4,00	2,00	3,00	40,000%
CAPACIDAD ANFIBIA	0,25	1,00	2,00	1,00	2,00	17,857%
CAPACIDAD AERONAVAL	0,25	0,50	1,00	0,33	1,00	8,809%
CAPACIDAD TRANSPORTE	0,50	1,00	3,00	1,00	3,00	24,286%
EQUIPAMIENTO	0,33	0,50	1,00	0,33	1,00	9,048%
SUMA	2,333	7,000	11,000	4,667	10,000	100,000%
TOTAL	35,000					
λ_{max}	5,190484503					
CI (Índice de consistencia)		$(\lambda_{max}-n)/(n-1)$	0,047621126			
RI (Índice aleatorio)		$n=5$	1,12			
CR (Cociente de consistencia)		CI/ RI	4,25%	<10%	ACEPTABLE	

1. COSTE	WASP	SAN ANTONIO	JUAN CARLOS 1º	GALICIA	ALBION	MISTRAL	DOKDO	VECTOR DE PRIORIDAD
WASP	1	1	1/5	1/9	1/7	1/5	1/5	2,905%
SAN ANTONIO	1	1	1/3	1/9	1/5	1/3	1/3	3,371%
JUAN CARLOS 1º	5	3	1	1/5	1/3	1	1	11,741%
GALICIA	9	9	5	1	3	5	3	35,630%
ALBION	7	5	3	1/3	1	3	3	22,735%
MISTRAL	5	3	1	1/5	1/3	1	1	11,741%
DOKDO	5	3	1	1/3	1/3	1	1	11,877%
SUMA	33,000	25,000	11,533	2,289	5,343	11,533	9,533	100,000%
TOTAL	98,232							

λmax	7,672177875							
CI (Índice de consistencia)		$(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$	0,112029646				λmax	7,672177875
RI (Índice aleatorio)		n= 7	1,32				CI	0,112029646
CR (Cociente de consistencia)		CI/ RI	8,49% <10%	ACCEPTABLE			RI	1,32
							CR	8,49%

2. C. ANFIBIA	WASP	SAN ANTONIO	JUAN CARLOS 1º	GALICIA	ALBION	MISTRAL	DOKDO	VECTOR DE PRIORIDAD
WASP	1	7	3	5	7	3	3	31,40%
SAN ANTONIO	1/7	1	1/5	1/3	1	1/5	1/5	3,33%
JUAN CARLOS 1º	1/3	5	1	3	5	1	1	17,69%
GALICIA	1/5	3	1/3	1	3	1/3	1/3	8,88%
ALBION	1/7	1	1/5	1/3	1	1/5	1/5	3,33%
MISTRAL	1/3	5	1	3	5	1	1	17,69%
DOKDO	1/3	5	1	3	5	1	1	17,69%
SUMA	2,486	27,000	6,733	15,667	27,000	6,733	6,733	100,00%
TOTAL	92,352							

λmax	7,542848304							
CI (Índice de consistencia)		$(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$	0,090474717				λmax	7,542848304
RI (Índice aleatorio)		n= 7	1,32				CI	0,090474717
CR (Cociente de consistencia)		CI/ RI	6,85% <10%	ACCEPTABLE			RI	1,32
							CR	6,85%

3. C. AERONAVAL		WASP	SAN ANTONIO	JUAN CARLOS 1º	GALICIA	ALBION	MISTRAL	DOKDO	VECTOR DE PRIORIDAD
WASP		1	9	3	7	9	3	3	30,804%
SAN ANTONIO		1/9	1	1/7	1/3	1	1/7	1/7	2,529%
JUAN CARLOS 1º		1/3	7	1	3	7	1	1	17,896%
GALICIA		1/7	3	1/3	1	3	1/5	1/5	6,932%
ALBION		1/9	1	1/7	1/3	1	1/7	1/7	2,529%
MISTRAL		1/3	7	1	5	7	1	1	19,656%
DOKDO		1/3	7	1	5	7	1	1	19,656%
SUMA		2,365	35,000	6,619	21,667	35,000	6,486	6,486	100,000%
TOTAL		113,622							
λmax		7,734598083							
CI (Índice de consistencia)		(λmax-n)/(n-1)							
RI (Índice aleatorio)		n= 7							
CR (Cociente de consistencia)		CI/ RI							
		9,28% <10%							
		ACCEPTABLE							

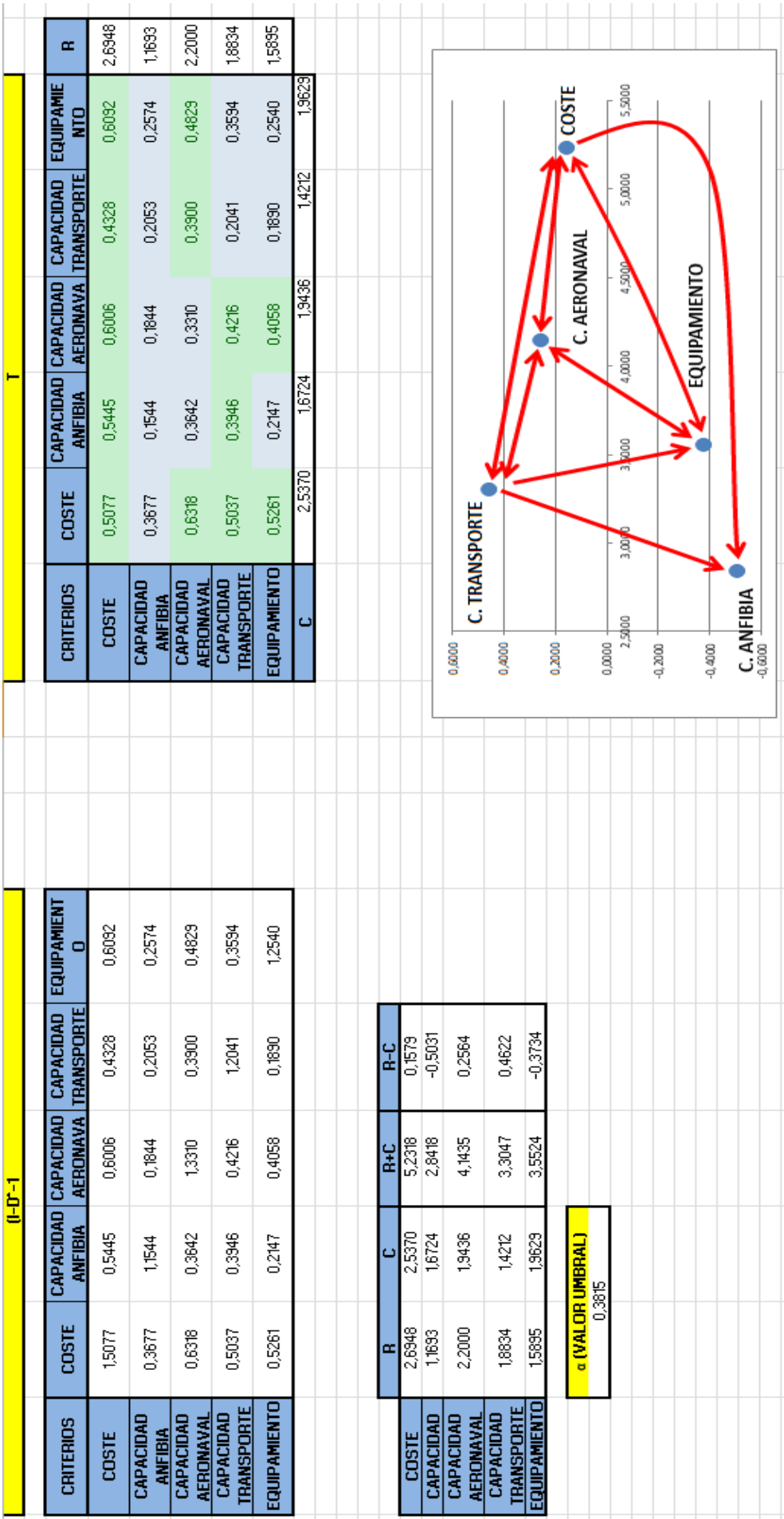
5. EQUIPAMIENTO	WASP	SAN ANTONIO	JUAN CARLOS 1º	GALICIA	ALBION	MISTRAL	DOKDO	VECTOR DE PRIORIDAD
WASP	1	1/3	3	5	3	1	3	18,45%
SAN ANTONIO	3	1	5	7	5	3	5	32,75%
JUAN CARLOS 1º	1/3	1/5	1	3	1	1/3	1	7,76%
GALICIA	1/5	1/7	1/3	1	1/3	1/5	1	3,62%
ALBION	1/3	1/5	1	3	1	1/5	3	9,86%
MISTRAL	1	1/3	3	5	5	1	5	22,96%
DOKDO	1/3	1/5	1	1	1/3	1/5	1	4,59%
SUMA	6,200	2,410	14,333	25,000	15,667	5,933	19,000	100,00%
TOTAL	88,543							

[illegible]

	COSTE	C. ANFIBIA	C. AERONAVAL	C. TRANSPORTE	EQUIPAMIENTO	RESULTADO AHP
PRIORIDAD	40,000%	17,857%	8,809%	24,286%	9,048%	
WASP	2,905%	31,40%	30,804%	26,66%	18,45%	17,628%
SAN ANTONIO	3,371%	3,33%	2,529%	2,45%	32,75%	5,724%
JUAN CARLOS 1º	11,741%	17,69%	17,896%	26,66%	7,76%	16,608%
GAUCIA	35,630%	8,88%	6,932%	6,47%	3,62%	18,347%
ALBION	22,735%	3,33%	2,529%	6,47%	9,86%	12,375%
MISTRAL	11,741%	17,69%	19,656%	14,58%	22,96%	15,204%
DOKDO	11,877%	17,69%	19,656%	16,71%	4,59%	14,114%
TOTAL	100,000%	100,000%	100,000%	100,000%	100,000%	

COHERENCIA GLOBAL	$CR = \frac{\sum_i w_i CI_i}{\sum_i w_i RI_i} =$	0,15695923 =	0,064327553 <10%	ACCEPTABLE
-------------------	--	--------------	------------------	------------

1. MATRIZ RELACIÓN DIRECTA (A)							2. MATRIZ RELACIÓN DIRECTA NORMALIZADA (D)						
CRITERIOS	COSTE	CAPACIDAD ANFIBIA	CAPACIDAD AERONAVA	CAPACIDAD TRANSPORTE	EQUIPAMIENTO	SUMA	CRITERIOS	COSTE	CAPACIDAD ANFIBIA	CAPACIDAD AERONAVA	CAPACIDAD TRANSPORTE	EQUIPAMIENTO	NTD
COSTE	0	3	3	2	3	11	COSTE	0,0000	0,2727	0,2727	0,1818	0,2727	0,2727
CAPACIDAD ANFIBIA	2	0	0	1	1	4	CAPACIDAD ANFIBIA	0,1818	0,0000	0,0000	0,0909	0,0909	0,0909
CAPACIDAD AERONAVA	3	1	0	2	2	8	CAPACIDAD AERONAVA	0,2727	0,0909	0,0000	0,1818	0,1818	0,1818
CAPACIDAD TRANSPORTE	2	2	2	0	1	7	CAPACIDAD TRANSPORTE	0,1818	0,1818	0,1818	0,0000	0,0909	0,0909
EQUIPAMIENTO	3	0	2	0	0	5	EQUIPAMIENTO	0,2727	0,0000	0,1818	0,0000	0,0000	0,0000
SUMA	10	6	7	5	7								



ANEXO III: ENCUESTAS REALIZADAS

En primer lugar, la explicación del problema y las preguntas de identificación del participante, constituían la primera parte de ambas encuestas.

Encuesta Características Buques Anfibios

Esta encuesta está diseñada como parte de un Trabajo de Fin de Grado para obtener opiniones desde diferentes puntos de vista acerca de la relación de características que debería tener un nuevo buque anfibio para la Armada Española (LPD o LHD)

La duración aproximada de esta encuesta es de 5 minutos.

En caso de estar interesado en los resultados de esta encuesta, envíe un correo electrónico a jesusotero_@hotmail.com y le remitiré los resultados una vez obtenidos.

Muchas gracias por su tiempo



Características estudiadas

A continuación se explican brevemente en qué consisten las 5 características que habrá que relacionar en la encuesta.

1- COSTE: teniendo en cuenta el coste de fabricación unitario, el coste de mantenimiento y el de operación (combustible, víveres, repuestos, etc)

2- CAPACIDAD ANFIBIA: teniendo en cuenta la cantidad y el tipo de embarcaciones que puede albergar en el dique, el número de estos vehículos que pueden ser operados a la vez, el número de helicópteros que pueden operar simultáneamente en la cubierta de vuelo.

3- CAPACIDAD AERONAVAL: teniendo en cuenta la posibilidad de operar aeronaves de ala fija, helicópteros y drones, así como la capacidad de sus hangares o el número de puntos de toma (spots).

4- EQUIPAMIENTO: armamento ofensivo y defensivo, sistema de combate, radares, equipos de guerra electrónica y contramedidas.

5- CAPACIDAD DE TRANSPORTE: de material como de personal (Infantería de Marina, Ejército de Tierra, ayuda humanitaria), elementos de movimiento de cargas (ascensores, grúas, etc), elementos de embarque desde el muelle (rampas, portones, escotillas)

SIGUIENTE

Empleo encuestado

Para ser capaz de comparar diferentes puntos de vista atendiendo al empleo en la Armada de los encuestados, así como la opinión de expertos civiles, por favor, rellene los siguientes campos.

¿Es usted civil o militar?

☐ Civil

☐ Militar

En caso de ser civil, indique su ocupación/ relación con la industria naval

Tu respuesta

En caso de ser militar, pertenece a:

- ☐ Armada
- ☐ Ejército del Aire
- ☐ Ejército de Tierra
- ☐ Cuerpos Comunes

En caso de pertenecer a la Armada, indique a qué Cuerpo y su rango

	Cuerpo General	Infantería de Marina	Intendencia	Ingenieros
Capitán de Navío / Coronel	☐	☐	☐	☐
Capitán de Fragata / Teniente Coronel	☐	☐	☐	☐
Capitán de Corbeta / Comandante	☐	☐	☐	☐
Teniente de Navío / Capitán	☐	☐	☐	☐
Alférez de Navío / Teniente	☐	☐	☐	☐
Alférez de Fragata / Alférez Alumno	☐	☐	☐	☐
Guardiamarina	☐	☐	☐	☐
Aspirante	☐	☐	☐	☐

A continuación, las preguntas de la primera encuesta, dirigida a plantear el método AHP.

Preguntas					
¿Qué considera más importante? *					
	1	2	3	4	5
Una mayor capacidad anfibia	☐	☐	☐	☐	☐
					Un menor coste
★					
	1	2	3	4	5
Una mayor capacidad anfibia	☐	☐	☐	☐	☐
					Una mayor capacidad aeronaval
★					
	1	2	3	4	5
Una mayor capacidad anfibia	☐	☐	☐	☐	☐
					Una mayor capacidad de transporte
★					
	1	2	3	4	5
Una mayor capacidad anfibia	☐	☐	☐	☐	☐
					Un equipamiento más avanzado
★					
	1	2	3	4	5
Una mayor capacidad de transporte	☐	☐	☐	☐	☐
					Un equipamiento más avanzado
★					
	1	2	3	4	5
Una mayor capacidad de transporte	☐	☐	☐	☐	☐
					Un coste reducido

	1	2	3	4	5	
Una mayor capacidad de transporte	☐	☐	☐	☐	☐	Un coste reducido
★						
	1	2	3	4	5	
Una mayor capacidad aeronaval	☐	☐	☐	☐	☐	Un coste reducido
★						
	1	2	3	4	5	
Una mayor capacidad de transporte	☐	☐	☐	☐	☐	Una mayor capacidad aeronaval
★						
	1	2	3	4	5	
Un coste reducido	☐	☐	☐	☐	☐	Un equipamiento más avanzado
★						
	1	2	3	4	5	
Una mayor capacidad aeronaval	☐	☐	☐	☐	☐	Un equipamiento más avanzado

ATRÁS
ENVIAR

A continuación, las preguntas de la segunda encuesta, dirigidas a plantear el método DEMATEL

Preguntas					
1- ¿Qué influencia tendrá el coste del buque sobre su capacidad anfibia? *					
	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia
2- ¿Qué influencia tendrá el coste del buque sobre su capacidad aeronaval? *					
	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia
3- ¿Qué influencia tendrá el coste del buque sobre su capacidad de transporte? *					
	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia
4- ¿Qué influencia tendrá el coste del buque sobre su equipamiento? *					
	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia
5- ¿Qué influencia tendrá la capacidad anfibia del buque sobre su coste? *					
	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

6- ¿Qué influencia tendrá la capacidad anfibia del buque sobre su capacidad aeronaval? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

7- ¿Qué influencia tendrá la capacidad anfibia del buque sobre su capacidad de transporte? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

8- ¿Qué influencia tendrá la capacidad anfibia del buque sobre su equipamiento? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

9- ¿Qué influencia tendrá la capacidad aeronaval del buque sobre su coste? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

10- ¿Qué influencia tendrá la capacidad aeronaval del buque sobre su capacidad anfibia? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

11- ¿Qué influencia tendrá la capacidad aeronaval del buque sobre su capacidad de transporte? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

12- ¿Qué influencia tendrá la capacidad aeronaval del buque sobre su equipamiento? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

13- ¿Qué influencia tendrá la capacidad de transporte del buque sobre su coste? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

14- ¿Qué influencia tendrá la capacidad de transporte del buque sobre su capacidad anfibia? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

15- ¿Qué influencia tendrá la capacidad de transporte del buque sobre su capacidad aeronaval? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

16- ¿Qué influencia tendrá la capacidad de transporte del buque sobre su equipamiento? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

17- ¿Qué influencia tendrá el equipamiento del buque sobre su coste? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

18- ¿Qué influencia tendrá el equipamiento del buque sobre su capacidad anfibia? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

19- ¿Qué influencia tendrá el equipamiento del buque sobre su capacidad aeronaval? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

20- ¿Qué influencia tendrá el equipamiento del buque sobre su capacidad de transporte? *

	0	1	2	3	
Ninguna influencia	☐	☐	☐	☐	Mucha influencia

ATRÁS

ENVIAR