



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio de requisitos y posibles aplicaciones de vehículos
marinos no tripulados para la Armada Española.*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: José Cuartero Rodríguez

DIRECTORES: Roberto Bellas Rivera

José María Núñez Ortuño

CURSO ACADÉMICO: 2017-2018

UniversidadeVigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio de requisitos y posibles aplicaciones de vehículos
marinos no tripulados para la Armada Española.*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

Actualmente los vehículos no tripulados aéreos, marítimos y terrestres están experimentando un gran desarrollo y presentan multitud de utilidades tanto en el campo civil como militar. En el ámbito militar marítimo muchos de estos sistemas juegan un papel muy importante, destacando el empleo de UUV (*Unmanned Undersea Vehicles*) y UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) para diferentes misiones. Sin embargo, frente a estos dos tipos de vehículos, los USV (*Unmanned Surface Vehicles*) no han conseguido captar la misma atención. No obstante, algunos países OTAN han llevado, o están llevando a cabo, el desarrollo de USV para cumplir funciones de vigilancia y guerra de minas principalmente. Si bien en España, el estudio y desarrollo de los USV parece ser más tardío, hay empresas que estudian estas alternativas con fines civiles y militares.

Una vez expuesta la situación de los USV, mediante el uso de AHP (*Analytic Hierarchy Process*), se establece una jerarquía de criterios para elegir un USV presente en el mercado actual. Este USV se propone como ejemplo y base para futuros estudios.

Con este TFG se quiere dar a conocer la situación de estos vehículos a nivel global y nacional mostrando sus ventajas, desventajas y las necesidades que deben cubrir para ser realmente útiles. De esta forma, se busca incentivar y motivar el estudio y desarrollo de esta incipiente solución tecnológica.

PALABRAS CLAVE

Autónomo, vehículo no tripulado, marítimo, criterio/sub-criterios, multicriterio.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer el tiempo dedicado para el desarrollo de este trabajo a mis tutores Don Roberto Bellas Rivera y Don José María Núñez Ortuño.

También agradecer al CN. Núñez Lacaci, al CF. Touza Gil, al TCOL. González del Campo Martínez, al CC. Sánchez Díaz, al CC. Perales Garat, al AN. Supervielle Bergés y a Doña Cristina Mateos Fernández de Betoño por la ayuda prestada. Especialmente a Doña Cristina, por la disposición que ha mantenido a lo largo del trabajo para ayudarme y orientarme con información relativa a los vehículos no tripulados.

No me olvido del apoyo y entusiasmo transmitido por mis compañeros de la camareta “L-3” Ignacio Moreu Rubio, Jaime Ferrando Asensio y Carlos Supervielle Bergés.

Por último, quiero agradecer el apoyo y la disposición incondicional de mi familia y de Cristina durante los cinco años de formación en la Escuela Naval Militar.

Contenido

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
Índice de Gráficos	6
Abreviaturas	7
1 Introducción y objetivos	10
1.1 Introducción y motivación del trabajo.	10
1.2 Método utilizado.	11
1.2.1 Investigación y estudio de los “Unmanned Surface Vehicles (USV)” y el escenario en el que tendrán que operar.	11
1.2.2 Evaluación de alternativas actuales.	11
1.3 Objetivos.	12
2 Estado del arte	13
2.1 Vehículos no tripulados en el ámbito marítimo.	13
2.1.1 Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV).	13
2.1.2 Vehículos Submarinos no Tripulados (UUV).	16
2.1.3 Vehículos de Superficie no Tripulados.....	18
2.2 Situación de los Vehículos de Superficie no Tripulados.	20
2.2.1 Comparación con otros vehículos no tripulados.....	20
2.2.2 Situación en el ámbito global.	22
2.2.3 Situación en el ámbito nacional.....	30
2.3 Escenario de las operaciones actuales y el entorno marítimo.	35
2.3.1 La Fuerza Naval.....	35
2.3.2 Las Operaciones Navales.....	35
2.3.3 Escenario de las Operaciones Navales en Seguridad Marítima.....	36
3 Desarrollo del TFG.....	39
3.1 Misiones de un USV para la Armada Española.	39
3.1.1 Misiones que puede acometer un USV.....	39
3.1.2 Necesidades de la Armada Española.	41
3.1.3 Descripción de la misión C4ISR de un USV para la Armada.	44
3.2 Desarrollo de un sistema multicriterio para selección de un USV.....	51
3.3 Asignación de pesos final y selección de alternativas a evaluar.	55
3.4 Análisis.....	57

3.4.1 Plataforma.....	57
3.4.2 Transporte y despliegue.....	58
3.4.3 Propulsión.....	59
3.4.4 Sensores y comunicaciones.....	60
4 Resultados	61
4.1 Selección de alternativa.....	61
4.2 Análisis de sensibilidad.....	62
4.2.1 Plataforma.....	62
4.2.2 Transporte y despliegue.....	62
4.2.3 Propulsión.....	63
4.2.4 Sensores y comunicaciones.....	63
4.3 El USV “Protector” como referencia para estudios futuros.....	64
4.3.1 Peso/desplazamiento.....	64
4.3.2 Dimensiones.....	65
4.3.3 Maniobra de largado y recogida.....	65
4.3.4 Comunicaciones.....	65
5 Conclusiones y líneas futuras	67
5.1 Cumplimiento de objetivos.....	67
5.2 Conclusiones y líneas futuras de trabajo.....	68
6 Bibliografía.....	70
Anexo I: Explicación del uso de AHP	73
Anexo II: Explicación de encuestas a expertos.....	76
Anexo III: Hoja de Excel para petición de opiniones y cálculo de pesos de los sub-criterios.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Global Hawk UAV de la USAF (<i>United States Air Force</i>) [3].	14
Figura 2-2 Predator (“Reaper”) UAV de la USAF [4].	14
Figura 2-3 Raven Mini-UAV [5].	15
Figura 2-4 Scan Eagle de la Armada Española [6].	15
Figura 2-5 Deep Sumergence Vehicle [7].	16
Figura 2-6 ROV Pluto Plus operado por la Armada Española [8].	16
Figura 2-7 Seafox Mine Disposal UUV [9].	17
Figura 2-8 Minesnipeer de la Armada Española [10].	17
Figura 2-9 USV en apoyo MCM [12].	19
Figura 2-10 Misiones de proyectos en curso [11].	22
Figura 2-11 Número de USV desarrollados o en desarrollo por países del entorno [11].	22
Figura 2-12 Protector USV [13].	23
Figura 2-13 Katana USV [14].	25
Figura 2-14 Edredon USV [16].	26
Figura 2-15 Inspector USV [17].	27
Figura 2-16 “A” Fleet Common USV [18].	28
Figura 2-17 Unidad de C2 para el CUSV [18].	29
Figura 2-18 Defensor I [19].	30
Figura 2-19 Defensor II [19].	31
Figura 2-20 Defensor Salvamento [19].	32
Figura 2-21 Kaluga USV [20].	33
Figura 2-22 Seadron USV de INDRA [6].	34
Figura 3-1 Área de cobertura con USV.	44
Figura 3-2 Conexión de comunicaciones “BLOS”.	47
Figura 3-3 Conexión de comunicaciones “LOS”.	47
Figura 3-4 Documentación de estandarización OTAN para UV [24].	48
Figura 3-5 Esquema de sistemas del USV.	50
Figura 3-6 Criterios y sub-criterios para evaluación de los USV.	51
Figura 3-7 Evaluación por estabilidad.	57
Figura 3-8 Evaluación por aspecto “stealth”.	57
Figura 3-9 Evaluación por peso.	58
Figura 3-10 Evaluación por dimensiones.	58
Figura 3-11 Evaluación por maniobra/logística.	58

Figura 3-12 Evaluación por permanencia.....	59
Figura 3-13 Evaluación por velocidad operativa.....	59
Figura 3-14 Evaluación por velocidad máxima.....	59
Figura 3-15 Evaluación por capacidad de Tx/Rx de información y de señales de C2.....	60
Figura 3-16 Evaluación por sensores para la RMP.	60
Figura 3-17 Evaluación por contramedidas.....	60
Figura 4-1 “PriEst” asignación de peso final a las alternativas.	61
Figura 4-2 Posibles zonas de estiba del USV en buques clase "Meteoro" [25].	64
Figura 4-3 Gancho Henriksen Bruks [27].	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Comparación de capacidades entre USV con UAV y UUV [11].	21
Tabla 2-2 Características Protector USV.	24
Tabla 2-3 Características Katana USV.	25
Tabla 2-4 Características Edredon USV.	27
Tabla 2-5 Características Inspector USV.	28
Tabla 2-6 Características "A" Fleet Common USV.	29
Tabla 2-7 Características Generales Defensor USV [19].	32
Tabla 2-8 Características Kaluga USV [20].	34
Tabla 3-1 Grados de Autonomía en USV [11].	40
Tabla 3-2 Criterios para determinar la viabilidad de un USV [11].	40
Tabla 3-3 Cometidos de las unidades de la Armada [21].	42
Tabla 3-4 Evaluación general USV para llevar a cabo tareas de vigilancia y seguridad marítima.	43
Tabla 3-5 Documentación sobre la estandarización de medios ISR OTAN.	48
Tabla 3-6 Asignación final de pesos para sub-criterios.	56
Tabla 3-7 Características de los USV que se van a evaluar.	56
Tabla 4-1 Asignación de peso a los USV.	61
Tabla 4-2 Comparación medidas de las estibas y el USV "Protector".	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1 Asignación de pesos por sub-criterios inicial AF. Cuartero.	53
Gráfico 3-2 Asignación de pesos por sub-criterios del Decisor 1.	53
Gráfico 3-3 Asignación de pesos por sub-criterios del Decisor 2.	54
Gráfico 3-4 Asignación de pesos por sub-criterios del Decisor 3.	54
Gráfico 3-5 Asignación de pesos por sub-criterios del Decisor 4.	54
Gráfico 3-6 Asignación de pesos por sub-criterios final.	55
Gráfico 4-1 Análisis de sensibilidad por criterio "Plataforma".	62
Gráfico 4-2 Análisis de sensibilidad por criterio "Transporte y despliegue".	62
Gráfico 4-3 Análisis de sensibilidad por criterio "Propulsión".	63
Gráfico 4-4 Análisis de sensibilidad por criterio "Sensores y comunicaciones".	63

ABREVIATURAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AIJ	<i>Aggregation of independent judgements</i>
AIP	<i>Aggregation of independent priorities</i>
AIS	<i>Automatic Identification System</i>
AJEMA	<i>Almirante Jefe del Estado Mayor de la Armada</i>
AMD	<i>Air and missile defense</i>
ASUW	<i>Anti-surface warfare</i>
ASW	<i>Anti-submarine warfare</i>
BAC	<i>Buque de aprovisionamiento en combate</i>
BAM	<i>Buque de Acción Marítima</i>
BLOS	<i>Beyond the Line of Sight</i>
C2	<i>Command and control</i>
C4	<i>Command, control, communications and computers</i>
C4ISR	<i>Command, control, communications, computers, intelligence, surveillance, and reconnaissance</i>
C4ISTAR	<i>Command, control, communications, computers, information / intelligence, surveillance, targeting acquisition and reconnaissance</i>
COMINT	<i>Communications intelligence</i>
CS	<i>Control Station</i>
DGAM	<i>Dirección General de Armamento y Material</i>
DSV	<i>Deep sumergence vehicle</i>
ECM	<i>Electronic countermeasures</i>
ELECTRE	<i>Elimination et Choix Taudisant la Realité</i>
ELINT	<i>Electronic intelligence</i>
EM/EO	<i>Electromagnetic / electro-optical</i>
EO/IR	<i>Electro-optical / infrared</i>
EOPINT	<i>Electro-optical intelligence</i>
ESM	<i>Electronic support measures</i>
EW	<i>Electronic warfare</i>
FAC	<i>Fast attack craft</i>
FIAC	<i>Fast inshore attack craft</i>
FP	<i>Force protection</i>
FUPRO	<i>Fuerza de Protección de Infantería de Marina</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HFDL	<i>High frequency data-link</i>

HVU	<i>High-value unit</i>
IMINT	<i>Imagery intelligence</i>
IRINT	<i>Infrared intelligence</i>
ISR	<i>Intelligence, surveillance, and reconnaissance</i>
JAUS	<i>Joint architecture for unmanned systems</i>
LCS	<i>Littoral Combat Ship</i>
LHD	<i>Landing helicopter deck</i>
LOS	<i>Line of sight</i>
LPD	<i>Landing platform dock</i>
MAJIC2	<i>Multi-intelligence all source joint intelligence surveillance and reconnaissance interoperability coalition</i>
MASINT	<i>Measurement and signature intelligence</i>
MCDM	<i>Multi criteria decision making</i>
MCM	<i>Mine counter measures</i>
MINISDEF	<i>Ministerio de Defensa de España</i>
NBQR	<i>Nuclear Bacteriological Quimical Radiological</i>
NUCINT	<i>Nuclear intelligence</i>
OA	<i>Operating area</i>
OPTIN	<i>Optical intelligence</i>
OPV	<i>Optionally piloted vehicle</i>
OTAN	<i>Organización Tratado Atlántico Norte</i>
OTH	<i>Over the horizon</i>
PHOTINT	<i>Photographic intelligence</i>
PIM	<i>Position of intended movement</i>
RADINT	<i>Radiologic intelligence</i>
RHIB	<i>Rigid-hull inflatable boat</i>
RMP	<i>Recognized maritime picture</i>
ROV	<i>Remotely operated vehicle</i>
SAR	<i>Search and rescue</i>
SER	<i>Superficie equivalente radar</i>
SIGINT	<i>Signals intelligence</i>
STANAG	<i>Standardization agreement</i>
SUW	<i>Surface warfare</i>
TELINT	<i>Telemetry intelligence</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
TRL	<i>Technology readiness levels</i>

UAV	<i>Unmanned aerial vehicle</i>
UHF	<i>Ultra high frequency</i>
USAF	<i>United States Air Force</i>
USN	<i>United States Navy</i>
USV	<i>Unmanned surface vehicle</i>
UUV	<i>Unmanned undersea vehicle</i>
UV	<i>Unmanned vehicle</i>
VHF	<i>Very high frequency</i>

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción y motivación del trabajo.

En la actualidad, muchas de las marinas de guerra del mundo realizan operaciones en las que los vehículos no tripulados (UV – *Unmanned Vehicles*) juegan un papel cada vez más importante. Esto puede deberse a diversas ventajas que estos vehículos ofrecen, como la disminución del riesgo para personal y menor tamaño; o simplemente por una reducción de las limitaciones frente a unidades tripuladas como pueden ser las condiciones adversas, el tiempo o la precisión.

En la mayoría de países del entorno OTAN (Organización Tratado Atlántico Norte) los vehículos no tripulados que más atención han recibido son los aéreos y submarinos. Por otro lado, en el ámbito naval, los vehículos no tripulados de superficie (USV – *Unmanned Surface Vehicles*) han recibido una atención mucho menor. Sin embargo, hay países que desde hace tiempo llevan a cabo el estudio y desarrollo de la tecnología necesaria para el empleo de los USV en cometidos militares y civiles.

Las Fuerzas Armadas de España, cuentan en la actualidad con vehículos no tripulados principalmente de carácter aéreo. Más concretamente, durante los últimos años, la Armada ha adquirido y puesto en servicio el vehículo aéreo no tripulado (UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*) denominado “Scan Eagle”.

Desde el comienzo del S. XX países como Estados Unidos, Inglaterra, Francia e Israel han llevado a cabo el desarrollo de sistemas USV, y actualmente están empezando a integrarlos en sus unidades. En nuestro caso, a pesar de trabajar ya con UAV, el desarrollo y aplicación de los USV parece estar algo retrasado y no resulta fácil encontrar documentación y referencias sobre su posible empleo en apoyo a las operaciones desarrolladas por la Armada Española.

Por ello, se ha propuesto realizar este Trabajo de Fin de Grado, para dar a conocer los USV, sus funcionalidades y el futuro estos sistemas podrían tener en la Armada Española.

Para proporcionar dicha visión, la primera parte del trabajo se ha centrado en el estudio de los USV y sus capacidades; y en la segunda se ha buscado establecer unos criterios y evaluaciones que sirvan de referencia para estudios futuros.

Al objeto de reducir subjetividades, a la hora de establecer los criterios y valores con los que un USV debe ser evaluado, se ha consultado a varios expertos de la materia y se han tenido en cuenta sus opiniones en la aplicación de un modelo de análisis multicriterio. Con este análisis se pretende establecer una base o referencia de estudio que pueda ser útil en el futuro próximo.

1.2 Método utilizado.

En este punto se expone la estructura y metodología que se ha seguido para el desarrollo del presente Trabajo de Fin de Grado. En su estructura hay dos partes bien diferenciadas respecto a la metodología que se ha seguido para desarrollar cada una de ellas.

1.2.1 Investigación y estudio de los “Unmanned Surface Vehicles (USV)” y el escenario en el que tendrán que operar.

Por un lado, los USV como objeto primordial de estudio para este Trabajo de Fin de Grado, han requerido un detallado periodo de documentación e investigación primero general y posteriormente que se reflejara en los puntos 2.1 y 2.2. Por otro lado, se han estudiado las operaciones navales en España y en el marco de las marinas de guerra de la OTAN, reflejándolo en los puntos 2.3 y 3.1.

En la primera parte del trabajo en la que se explica y muestra el estado de los USV a nivel mundial, se describen también las características de los vehículos más relevantes hasta el momento, según fuentes abiertas. Posteriormente, se describe el estado de esta tecnología a nivel nacional y los vehículos desarrollados por empresas españolas que destacan dentro del ámbito de la industria nacional de defensa.

Una vez conocidas las capacidades de esta incipiente y posiblemente prematura tecnología, y ya realizado el estudio de posibles necesidades de la Armada Española, se ha propuesto el uso de vehículos autónomos de superficie para cubrir y aumentar la capacidad de obtención de información de los buques de la Armada Española dedicados a operaciones de vigilancia marítima.

Para proponer el uso de los USV en el ámbito naval militar, se han expuesto diferentes retos que deben ser resueltos y que han de afrontar tanto las unidades no tripuladas de superficie, como las unidades convencionales de la Armada que vayan a emplearlos y sus sistemas de Mando y Control. Las necesidades que se han descrito atienden principalmente a campos de comunicaciones, sensores, grados de funcionamiento autónomo y características del medio en el que van a operar. Son por tanto, problemas que se plantean para el apropiado uso y explotación de este tipo de sistemas, a los que se ha tratado de dar respuesta y se han propuesto soluciones a nivel conceptual y no puramente técnico, debido a la complejidad de cada uno de los campos tecnológicos que se tratan.

1.2.2 Evaluación de alternativas actuales.

En esta segunda parte se plantea la selección de un USV como mejor alternativa para su uso en la Armada. La selección se lleva a cabo entre varios de los vehículos, tanto nacionales como extranjeros, expuestos en el apartado “Estado del arte”. El proceso de evaluación de alternativas se lleva a cabo atendiendo a varios criterios, que en algún caso, pueden presentar complicaciones para evaluar la importancia de cada uno de ellos frente al resto.

El primer paso es la selección de un sistema de toma de decisiones multicriterio (MCDM - *Multi criteria decision making*) que permita establecer los criterios de evaluación y elegir el USV que pueda servir de base para futuros estudios. El problema que se plantea es complejo e implica tener en cuenta una serie de criterios y sub-criterios que es necesario ponderar según su importancia.

Hay diferentes sistemas multicriterio de apoyo a la toma de decisiones entre los que destacan por su mayor difusión “Electre”, “Topsis” y “AHP”; que se describen de forma sencilla a continuación.

- ELECTRE (*Elimination et Choix Taudisant la Réalité*). Es un método de selección multicriterio que permite obtener mediante “sobreclasificación”, según diversos criterios, las mejores alternativas. Esto lo hace desechando aquellas alternativas que no son valoradas de forma acumulada por los criterios.
- TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*). Es un sistema de selección multicriterio que se basa en el conocimiento de la solución ideal y la “anti-

ideal”, de manera que la solución tiene que estar lo más lejos posible de la opción “anti-ideal” y lo más próxima posible a la solución ideal.

- AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que se basa en la comparación por pares para simplificar un problema complejo en pequeñas partes.

De entre los distintos sistemas MCDM, el sistema de ayuda a la decisión que se ha elegido es el “Proceso de Análisis Jerárquico” (AHP) desarrollado por Thomas L. Saaty en 1980. Es un sistema de análisis de alternativas en las que todas las alternativas son comparadas entre ellas para cada uno de los sub-criterios. Las comparaciones en este método se hacen por pares, de manera que se facilita la concentración del decisor en no tener que evaluar más de dos alternativas simultáneamente. Como resultado de estas comparaciones se obtendrá la alternativa que mejor evaluada quede teniendo en cuenta todos los criterios. Además, se trata de la metodología de análisis multicriterio más extendida en las FFAA. Explicación en el Anexo I: Explicación del uso de AHP.

El siguiente paso es la obtención del peso que cada criterio y sub-criterio debe tener. Los pesos de cada sub-criterio se han obtenido mediante una hoja de cálculo en Excel que ha sido cubierta tanto por el autor de este Trabajo de Fin de Grado como por expertos en el campo de los vehículos no tripulados. Véase en el Anexo II: Explicación de encuestas a expertos. y el Anexo III: Hoja de Excel para petición de opiniones y cálculo de pesos de los sub-criterios..

Una vez obtenidos los pesos finales teniendo en cuenta la opinión de expertos, para hacer la evaluación de las alternativas según los sub-criterios, se ha utilizado una herramienta de AHP de libre distribución llamada “PriEst”. Esta herramienta creada por Sarid Siraj en 2015 permite una mejor visualización de los juicios tomados, de la consistencia de las comparaciones y del análisis de los resultados [1].

Al ser los USV una tecnología muy reciente, la mayoría de USV se encuentran limitados o simplemente no cuentan con los medios necesarios porque nadie los ha evaluado como tal. Por ello no significa que el USV elegido tras la valoración sea realmente una opción viable.

En este caso, la alternativa mejor valorada puede servir como guía o base a la hora de establecer unos requisitos o definir las ideas base para el desarrollo de un sistema similar.

1.3 Objetivos.

El primer objetivo de este trabajo es dar a conocer los USV, su estado de desarrollo actual y las capacidades que podrían aportar en el desarrollo de las operaciones de Seguridad Marítima. El interés radica en la poca atención que han recibido en España, a pesar de que en países de nuestro entorno se han llevado a cabo estudios e investigaciones sobre los USV durante los últimos años. Incluso se han llegado a desarrollar sistemas que a día de hoy alcanzan un considerable grado de madurez.

El segundo objetivo consiste en aplicar un sistema de análisis y apoyo a la decisión basado en múltiples criterios para la selección de una alternativa que pueda servir de referencia para determinar futuras líneas de investigación, desarrollo y adquisición de USV u otros sistemas en España.

Mediante estos dos objetivos principales, este TFG pretende ofrecer un marco general técnico-operativo a nivel conceptual, que motive el estudio de estas unidades de superficie no tripuladas. Todo ello con vistas tanto a la determinación de líneas de investigación y desarrollo (I+D), como a la experimentación con este tipo de sistemas y el desarrollo de conceptos operativos para su adopción y empleo como potenciadores de las capacidades de la Fuerza naval en el ámbito de las operaciones navales de Vigilancia y Seguridad Marítima.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Vehículos no tripulados en el ámbito marítimo.

Para comenzar este punto, se definirá como vehículos no tripulados aquellos que no lleven una persona a bordo para operarlo, sin tener en cuenta sistemas de armas como torpedos, misiles y minas. Dentro de estos se encuentran los vehículos autónomos, que dependiendo del grado de autonomía que presenten, pueden llevar a cabo desde el seguimiento de una ruta por control remoto hasta la toma de decisiones para seguir una ruta óptima o alterar su conducta dependiendo del entorno. Es decir, a medida que el grado de autonomía de los sistemas no tripulados se hace mayor, aumenta también la dificultad y complejidad de las misiones que este puede realizar [2].

Las operaciones navales se caracterizan por ser cada vez más completas, es decir, por llevarse a cabo en los tres espacios del entorno marítimo: de superficie, submarino y aéreo, tanto a nivel nacional como de forma combinada con otras fuerzas aliadas. Como resultado, surgen unidades no tripuladas preparadas para operar en cada uno de dichos espacios.

A continuación se describirán los vehículos no tripulados en el ámbito marítimo, que se pueden clasificar en tres grandes grupos: vehículos aéreos, de superficie y submarinos.

2.1.1 Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV).

En este grupo se integran todos los vehículos no tripulados (UV) que operan en el segmento aéreo, con independencia, tanto de la situación de sus elementos de control (en tierra o en la mar), como desde donde sean desplegados o recogidos.

El uso de vehículos aéreos no tripulados como unidades de designación de blancos y de acción aire-superficie se remonta a la Segunda Guerra Mundial [2].

Aunque la idea de usar vehículos aéreos no tripulados surgiese mucho tiempo atrás, su uso real no se produce hasta finales del siglo XX. Esto se debió, fundamentalmente, a la falta de tecnologías que permitiesen la integración de estos sistemas y la explotación de la información obtenida por ellos.

Entrado el siglo XXI, donde la tecnología avanza a pasos agigantados, el uso de UAV en el ámbito militar y marítimo se ha convertido en una necesidad de capacidad militar común a la mayoría de países de la OTAN (Organización Tratado Atlántico Norte).

Actualmente, los sistemas aéreos no tripulados están siendo protagonistas en muchas de las operaciones militares. Tanto en la Guerra de Afganistán y la de Iraq, como en misiones de vigilancia a lo largo de todo el globo, los UAV han demostrado tener una gran capacidad para desempeñar misiones

de recolección y diseminación de la información, así como para las de vigilancia y reconocimiento. Todo ello con el fin de aportar la mayor cantidad de información para la toma de decisiones, tanto a nivel táctico como operacional y estratégico.

Atendiendo al tipo de misiones que pueden llevar a cabo, los UAV se pueden subdividir en tres grandes tipos [2].

2.1.1.1 UAV de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (ISR).

Esta familia agrupa los UAV cuya misión es el empleo de sensores para la obtención de información. Dentro de estos, la subdivisión puede ser mayor dependiendo del tipo de información que obtengan, como por ejemplo imágenes, comunicaciones, firmas o frecuencias. El tamaño de estos UAV es muy variable, desde pequeñas aeronaves transportables por humanos, hasta vehículos de tamaño similar al de un caza convencional.



Figura 2-1 Global Hawk UAV de la USAF (United States Air Force) [3].

2.1.1.2 UAV de Ataque.

Este grupo engloba a aquellos que, al contrario que los anteriores, se centran en el uso de las armas. En este caso hay tres grandes grupos diferenciados:

- Destinados a la supresión o anulación de la defensa anti-aérea enemiga.
- Apoyo aéreo cercano para unidades terrestres.
- Ataque a tierra en todas sus diferentes vertientes.

Los más utilizados en la actualidad son los usados para la supresión de la defensa anti-aérea enemiga. El principal motivo es que permiten realizar una gran economía de esfuerzos sin poner en peligro a personal dentro de la aeronave.



Figura 2-2 Predator ("Reaper") UAV de la USAF [4].

2.1.1.3 UAV de Apoyo al Combate.

En este grupo entran todos los UAV utilizados para misiones que apoyan de forma directa o, más bien, que facilitan que unidades convencionales lleven a cabo su misión.



Figura 2-3 Raven Mini-UAV [5].

Las misiones de estos vehículos son por ejemplo relé de comunicaciones, guerra electrónica y decepción; es decir, misiones que aumentan las capacidades de las unidades amigas o que deterioran las capacidades enemigas para que las unidades convencionales puedan acometer sus acciones de forma más fácil.

En España, tanto el Ejército de Tierra, el Ejército del Aire y la Armada tienen Vehículos Aéreos no Tripulados que se ajustan a sus necesidades operativas. La Armada Española cuenta desde 2015 con una escuadrilla dentro de la Flotilla de Aeronaves formada por UAV “SCAN EAGLE” que operan tanto desde tierra como desde unidades en la mar; cuya función es la de ISR descrita en el punto 2.1.1.1.



Figura 2-4 Scan Eagle de la Armada Española [6].

2.1.2 Vehículos Submarinos no Tripulados (UUV).

Se engloban en este grupo todos aquellos vehículos no tripulados (UV) que desarrollan su labor principal en el medio subacuático, independientemente tanto de su medio de despliegue como de su modo de operación desde superficie.

Los primeros vehículos submarinos no tripulados surgieron para realizar trabajos subacuáticos, donde las condiciones no eran apropiadas para que operasen buzos o buceadores. Por otro lado, un segundo tipo de vehículos subacuáticos tripulados se desarrollaron, tanto para la investigación científica del fondo marino, como para la búsqueda o el rescate de objetos hundidos; los DSV (*Deep Sumergence Vehicles*)



Figura 2-5 Deep Sumergence Vehicle [7].

Es en este marco donde aparecieron los ROV (*Remotely Operated Vehicles*), para realizar las funciones o trabajos de los dos tipos de vehículos descritos al empezar este apartado. Se eliminaron así los riesgos para los operadores de los DSV y, por tanto, se aumentó la capacidad de permanecer sumergidos. El control de los ROV se lleva a cabo mediante un cable umbilical por el que además se le puede suministrar la energía necesaria para trabajar.



Figura 2-6 ROV Pluto Plus operado por la Armada Española [8].

Hay trabajos que necesariamente requieren de esa conexión umbilical para poder controlar el vehículo, debido tanto a la complejidad de las tareas, como a las dificultades para su control inalámbrico en el medio subacuático; sin embargo, hay múltiples misiones genéricas, sencillas y rutinarias en las que un UUV (*Undersea Unmanned Vehicle*) podría no requerir supervisión directa por parte de un operador. Este es el caso en el que actualmente se encuentra centrado el desarrollo de UUV para llevar a cabo, principalmente, actividades de medidas contra minas marinas (MCM) y trabajos hidrográficos.

El gran esfuerzo en el desarrollo de estos vehículos se centra en la dificultad técnica para lograr su control sin conexión física con la unidad de supervisión, lo que implica la necesidad de dotarlos de un

alto grado de autonomía. Una gran autonomía permitiría al vehículo llevar a cabo su trabajo rutinario de forma autónoma, y una vez detectada una anomalía tendría que ser capaz de modificar su conducta o de enlazar con la estación de control para recibir nuevas instrucciones o para pasar la información recogida.

Hay una serie de limitaciones a la hora de operar con vehículos submarinos [2], entre las que destacan:

- La capacidad de almacenamiento de energía.
- La integración de sistemas de navegación o sensores que se encuentra limitada por su tamaño.
- La mar es un medio prácticamente opaco para la transmisión de ondas electromagnéticas y, por otra parte, el empleo de ondas acústicas o sistemas ópticos para el control e intercambio de información entre el UUV y su estación de control, a través del medio subacuático, representa todavía ciertas limitaciones no superadas por la tecnología (“conocemos más de Marte que de las profundidades de los océanos”) [2].

La clasificación de estos vehículos se suele realizar entonces atendiendo a diferentes criterios como su tamaño o grado de autonomía. Según su grado de autonomía se pueden dividir en ROV y UUV. Atendiendo a su tamaño, no hay una forma estándar de clasificación y dependiendo de los países o empresas puede variar.

Una característica fundamental de los UUV es que pueden ser desplegados tanto desde plataformas navales como desde plataformas de oportunidad como puede ser una embarcación auxiliar o una aeronave.

Ejemplo del uso de estos vehículos en operaciones recientes es el uso del “SEAFOX” de Atlas Electronic para el despliegue de minas con un vehículo desechable durante el embargo del espacio marítimo a Libia en el 2011.



Figura 2-7 Seafox Mine Diposal UUV [9].

La Armada Española cuenta con vehículos submarinos no tripulados tipo ROV para la guerra de minas: el “PLUTO PLUS” y el “MINESNIPEER”.



Figura 2-8 Minesnipeer de la Armada Española [10].

2.1.3 Vehículos de Superficie no Tripulados.

Dentro de estos, se incluye a los vehículos no tripulados (UV) que desarrollan su actividad en la superficie, ya sea en espacios marítimos o en aguas interiores. Este grupo de UV constituye el núcleo de estudio de este trabajo, debido a las potenciales ventajas que podría proporcionar su empleo en las operaciones navales.

Se trata de una familia de UV que se encuentra actualmente en desarrollo. Hay que decir que, aunque el empleo de medios remotos de superficie puede remontarse a la Segunda Guerra Mundial y la Guerra de Vietnam, los USV no han recibido tanta atención como han recibido los UAV, UUV o UGV (*Unmanned Ground Vehicles*) en los últimos años [2]. La causa principal para el retardado en su desarrollo puede haber sido, tanto la falta de madurez tecnológica necesaria para lograr su eficacia operativa, como la ausencia de utilidad operativa de los USV en el concepto de las operaciones navales que se tenía hasta el momento. Estos dos factores, especialmente el segundo, es decir, la valoración de su necesidad operativa, han condicionado su desarrollo en el pasado reciente.

Los USV se caracterizan frente a otros UV en ser capaces de explotar simultáneamente el medio subacuático, el de superficie y el aéreo [11]. Esta explotación la pueden llevar a cabo tanto por el uso de sensores propios como radares y sonares, o por medio del despliegue de otros vehículos no tripulados (UAV y UUV).

Actualmente no hay registro de operaciones reales en las que se usen o se hayan usado estos vehículos no tripulados, más allá que en pruebas para determinar factores de desarrollo. No obstante, en la actualidad, muchas marinas del mundo están llevando a cabo el desarrollo de USV para diferentes misiones.

En este sentido, se pueden diferenciar principalmente dos líneas de desarrollo descritas a continuación.

2.1.3.1 USV para apoyo en Operaciones MCM.

Dentro de este grupo, los USV juegan un papel fundamental en el desarrollo de sistemas combinados, de sistemas tripulados y no tripulados, para la guerra de minas. La idea general se basa en que un USV, de tamaño significativamente menor al de una unidad MCM convencional, se encargue del despliegue de sistemas UUV en zonas de amenaza de minas. El USV podría ser mucho menos detectable por las minas que una unidad de superficie convencional y además funcionar como punto de enlace entre la estación de control (CS) y las unidades submarinas no tripuladas (UUV) que despliegue, aumentando el alcance y posibilidades de control remoto de los UUV. De esta forma, los USV (en contacto con los tres espacios: subacuático, aéreo y de superficie) se constituyen como un elemento clave para configurar redes de sistemas de diversa tipología que operen en el entorno marítimo, facilitando así minimizar las limitaciones impuestas por el medio al desarrollo de las operaciones.



Figura 2-9 USV en apoyo MCM [12].

Países como Estados Unidos (EEUU) o Francia presentan proyectos de gran madurez para este campo, incluso ya han sido probados e integrados en unidades operativas.

2.1.3.2 USV Multipropósito.

En esta línea de desarrollo entran prácticamente la mayoría de los USV restantes, puesto que las prestaciones que se buscan en ellos son muy similares y, en muchos casos, da lugar a que un mismo vehículo pueda realizar diferentes tipos de misiones variando la carga de pago¹ que se le acople.

Quizás esta sea la línea de desarrollo menos madura, pero países como EEUU, Israel, Polonia y Singapur, apuestan por el desarrollo de USV multipropósito, con proyectos que proporcionan grandes prestaciones y que ya se han llegado a probar en misiones de vigilancia de espacios marítimos.

“La Victoria sonríe a aquellos que anticipan los cambios en el carácter de la Guerra, no a los que esperan adaptarse después de que ocurra”

General Giulio Douhet, Command of the Air 1921.

En definitiva, el uso combinado de estos tipos de vehículos no tripulados (UAV, UUV y USV), específicos para operar en cada espacio (aéreo, subacuático y de superficie), permitirá un aumento de las capacidades operativas disponibles para llevar a cabo las operaciones navales. En dicho sentido, los USV, podrían constituir un sistema de gran valor añadido como posibilitador a la hora de configurar redes de sensores para vigilancia de áreas de interés del entorno marítimo. Por otra parte, debido a la naturaleza expedicionaria de la fuerza naval, los vehículos no tripulados en el ambiente marítimo tienen como denominador común el de poderse desplegar, controlar y explotarse desde unidades en la mar.

¹ Carga de pago: traducción literal del inglés “payload” que se refiere a la carga útil. En este contexto hace referencia a equipos que son ajenos al funcionamiento del vehículo.

2.2 Situación de los Vehículos de Superficie no Tripulados.

2.2.1 Comparación con otros vehículos no tripulados.

Como ya se ha comentado en el punto anterior, este trabajo se centra en el estudio de los vehículos no tripulados de superficie (USV). Una vez expuestas las ideas generales de los vehículos no tripulados (UV) de aplicación naval, se exponen a continuación las capacidades de los USV frente al resto de UV.

Los aspectos operativos para llevar a cabo la comparación las diferentes familias de UV, se establecen en base a su importancia para que los vehículos no tripulados puedan ser empleados eficazmente en las misiones que lleven a cabo en el ámbito de las operaciones navales.

Dentro de estos aspectos operativos de comparación están:

2.2.1.1 Capacidad de permanencia.

La importancia de este punto reside en ser capaz de llevar a cabo una observación continuada del entorno para la obtención de información relevante. Dependiendo de la capacidad de permanencia en zona que tenga un vehículo no tripulado podrá llevar a cabo distintas misiones de vigilancia (vigilancia continua, identificación, reconocimiento, etc.)

En este aspecto los USV presentan una gran ventaja frente a los UAV y los UUV. Un USV puede permanecer mucho más tiempo desplegado debido a las características de su plataforma. Pueden usar fuentes de energía menos limitadas que las fuentes eléctricas que usan los UUV. Frente a los UAV siguen manteniendo esta ventaja sobre todo en el momento en el que un USV opera a bajas velocidades y no necesita apenas consumir combustible para mantenerse en una posición.

2.2.1.2 Radio de acción.

Cuanto mayor sea el alcance de despliegue de un vehículo no tripulado, la obtención de información puede ser mayor siempre que sus sensores lo permitan. Además, cuanto mayor sea el alcance, menos tendrá que desplazarse la estación de control.

Frente a los vehículos aéreos, los USV están en desventaja, pues las velocidades de operación de los UAV les permiten tener alcances mayores en menos tiempo. Sin embargo, un USV puede llegar a esos alcances, o mayores, pero en un periodo de tiempo mayor debido a su menor velocidad y a la limitación de alcance de sus sensores impuesta por la curvatura terrestre.

Cuando se comparan con los UUV, los USV sin embargo presentan una ventaja considerable por la misma razón que un UAV tiene mayor radio de acción que un USV, es decir, la velocidad de operación de los UUV es notablemente menor.

2.2.1.3 Capacidad para integrar diferentes cargas de pago.

Es un punto muy importante para valorar, pues cuanto mayor es la capacidad de carga de pago del vehículo, mayor número de equipos podrá integrar este.

En este aspecto vuelven a presentar ventajas los USV, pues la capacidad de carga de un UAV y un UUV están muy limitadas por sus dimensiones, desplazamientos y potencia. Además, en el caso de los UUV la fuente de energía eléctrica es la principal carga que tienen que soportar los vehículos.

2.2.1.4 Sensores y comunicaciones.

En este campo hay distintos puntos que evaluar. Dentro de sensores y comunicaciones hay que tener en cuenta diferentes puntos de vista.

Es ya conocido que las aeronaves, en general tienen mayor cobertura de sensores y comunicaciones que las unidades de superficie. Sin embargo, la capacidad que presenta una unidad de superficie para integrar sistemas de comunicaciones y sensores de obtención de información es mucho mayor que la que puede tener una unidad aérea.

Como ya se ha indicado en otros apartados, el principal punto fuerte de los USV frente al resto de vehículos no tripulados, que les confiere un gran valor añadido, es la posibilidad de combinación de sensores y comunicaciones que actúan, tanto por encima, como por debajo del agua.

2.2.1.5 Grado de autonomía necesario.

Se trata de la capacidad que debe tener un vehículo para operar sin necesidad de ser controlado de forma remota. Dependiendo del entorno donde desarrolle su actividad un vehículo no tripulado, debe tener un mayor o menor grado de autonomía para evitar obstáculos, peligros y otras dificultades.

En este sentido, después de los UUV, quizás sean los USV los que necesiten un mayor grado de autonomía por la naturaleza del medio marino, el tráfico marítimo y la poca capacidad de control que un operador puede tener sobre ellos. Entre otras causas, el control de un USV se puede ver limitado por los alcances de comunicaciones o, por el simple hecho de que el operador de la estación de control (CS) tenga menos percepción de la situación en la que opera el vehículo que en el caso de los operadores de UAV. Esto se debe a que el medio marítimo es mucho más heterogéneo y complejo por ser el límite entre dos medios físicos.

2.2.1.6 Discreción o “stealth”.

Aspecto que se refiere a la dificultad para que puedan ser detectados por los sensores o personal de otras unidades. Esto se refiere a todos los tipos de detección; es decir, radar, térmica, visual, acústica y magnética.

En este sentido los UUV son, en general, más discretos que los USV, pues la detección de objetos bajo el agua es más compleja que la detección sobre la superficie y, por tanto, las posibilidades de detectar el vehículo submarino se reducen enormemente.

El tamaño de un UAV puede ser mucho menor que el de un USV pero, para vehículos del mismo tamaño, son más fáciles de detectar en el aire que en la superficie de mar. Esto se debe a la capacidad de discriminación de muchos sensores, que se ven afectados por elementos del medio marítimo como las olas. Se puede decir, por tanto, que un USV podría ser más discreto que un UAV.

Como resumen se puede ver la comparación en la Tabla 2-1 .

● Clear advantage for USV
 ◐ Near parity
 ○ Clear disadvantage for USV

Attribute	USV Comparison with UAV		USV Comparison with UUV	
	Relative Advantage	Comment	Relative Advantage	Comment
Endurance	●	Advantage most pronounced when USVs can operate at low speed	●	Hydrocarbon fuels with unlimited oxidizers versus batteries and/or fuel cells
Power				
Propulsion	◐		●	UUVs are more volume-limited for propulsion systems; heat dissipation can be an issue
Mission packages	◐		◐	USVs have more power; UUV packages have lower power requirements
Speed	○		●	UUVs are speed-limited to a few knots
Range	○		●	
Payload capacity	●	UAV space, weight, and power for payloads are limited	●	Low energy density reduces UUV internal volume for payloads
Sensors				
Above the surface	○		●	
Subsurface	●		○	UUVs have more types of sensors and can position them better
Communications	◐	UAVs have better vantage points, but USVs have cross-domain capabilities	●	
Stealth	◐	Both USVs and UAVs have potential to be stealthy	○	
Autonomy requirements	○	UAVs have fewer traffic-avoidance problems and no seakeeping issues	◐	UUVs have limited seakeeping issues and fewer traffic-avoidance problems, although they need to avoid undersea hazards; USV autonomy demands are mitigated by better reachback capability

RAND RR384-S.1

Tabla 2-1 Comparación de capacidades entre USV con UAV y UUV [11].

2.2.2 Situación en el ámbito global.

Actualmente, el estado de la tecnología relativa a los USV a nivel mundial se centra en una serie limitada de funciones y capacidades para estos vehículos.

La mayoría de las funciones que se atribuyen a este tipo de vehículos están relacionadas con el conocimiento del entorno marítimo y vigilancia. Se trata de aplicaciones no necesaria y estrictamente militares, sino también aplicaciones civiles o duales en el ámbito de la Seguridad Marítima y conocimiento del entorno marítimo.

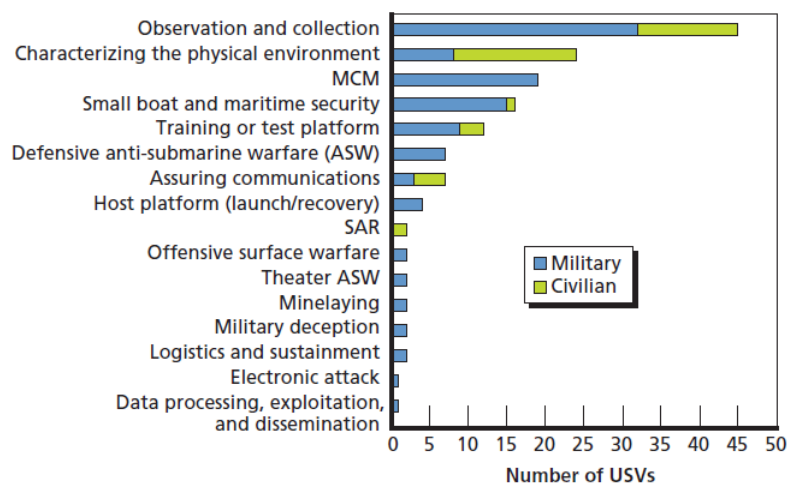


Figura 2-10 Misiones de proyectos en curso [11].

En la Figura 2-10 se pueden ver los campos de desarrollo del mercado actual. No significa que aquellas misiones en las que está más centrado el estudio estén más avanzadas. Por ejemplo, la Seguridad Marítima aparece con tan solo un 4% pero realmente es una de las pocas que realmente se llevan a cabo mediante USV porque el estado tecnológico actual lo hace viable.

Actualmente muchas de las misiones que los USV llevan a cabo en el ámbito civil y militar son misiones relativamente sencillas limitadas por sistemas de control LOS (“*Line Of Sight*”). A medida que las capacidades evolucionen, las misiones podrán ir aumentando su complejidad [11]. El mercado civil de estos vehículos se enfoca hacia el desarrollo de mayores grados de autonomía y capacidad de permanencia. Por lo tanto, la cooperación entre el desarrollo civil y militar de USV puede producir sinergias que faciliten el desarrollo de las tecnologías necesarias y el ahorro en esfuerzos y recursos.

La Figura 2-11 muestra un histograma del número de USV desarrollados o en desarrollo por los países que más han apostado por su desarrollo en el ámbito civil y en el militar.

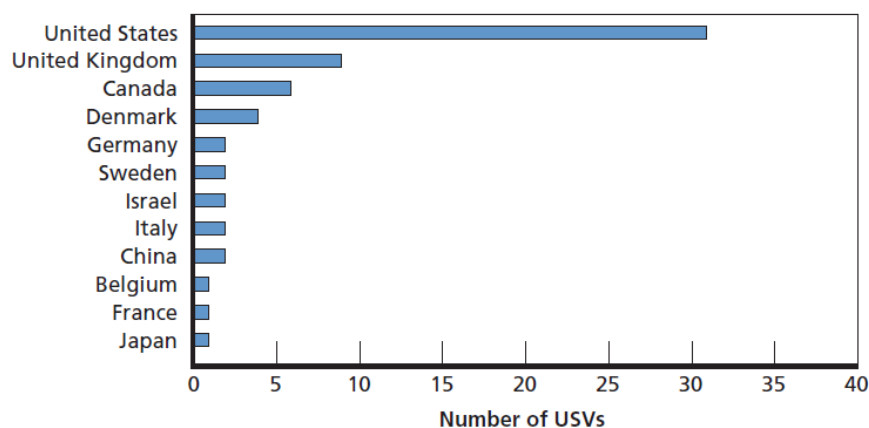


Figura 2-11 Número de USV desarrollados o en desarrollo por países del entorno [11].

A continuación, se describirán los USV más representativos del mercado actual a nivel internacional.

2.2.2.1 PROTECTOR USV (RAFAEL INDUSTRIES) [13].

Se trata de un USV multipropósito de la casa Rafael Industries que inicialmente fue desarrollado para funciones de Vigilancia Marítima y Seguridad de infraestructuras marítimas. Presenta un alto grado de automatización y permite su control más allá de la LOS (“*Line Of Sight*”), es decir, BLOS (“*Beyond Line of Sight*”). Esto incrementa enormemente sus capacidades como vehículo no tripulado.

El modelo inicial desarrollado en el 2003 tenía una eslora de 9 metros y basaba su estructura en el casco de una embarcación semirrígida (RHIB – *Rigid Hull Inflable Boat*). En el 2012, Rafael Industries presentó una nueva versión de mayor tamaño, con 11 metros de eslora, que permitía el uso incluso de misiles superficie-superficie (SSM) de corto alcance “Spike”.

Actualmente este vehículo es operado por Israel y la República de Singapur, aunque hay otros países interesados en el Protector.

Su fácil configuración le permite ser útil en un amplio espectro de misiones. Se puede utilizar para llevar a cabo misiones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR), protección de la fuerza (FP), guerra anti superficie (ASUW), guerra electrónica (EW), así como seguridad de puertos e infraestructuras.



Figura 2-12 Protector USV [13].

El vehículo puede llevar integrados sistemas de visión electro-óptica y térmica, radar, de seguimiento de blancos y de guerra electrónica que le permiten llevar a cabo sus misiones tanto de día como de noche. También está equipado con una estación de tiro de control remoto que puede operar con armas ligeras, como por ejemplo, una ametralladora Browning (12,7 mm) o un lanzagranadas de 40mm. Además, está equipado con sistemas sonoros y luminosos que permiten la emisión de mensajes o advertencias a otros contactos cercanos.

En cuanto a su control, es operado mediante un sistema data-link que enlaza el vehículo con la estación de control. La estación de control está formada por dos puestos de operación; uno de ellos dedicado a la explotación de sensores y armas, y otro dedicado al control de la navegación. Toda la información adquirida por el USV puede ser integrada en un sistema C4 (*Command, Control, Computers, Communications*) externo al Protector.

Además de las aplicaciones puramente militares, el Protector puede llevar a cabo misiones de recolección de información meteorológica e incluso análisis NBQR (Nuclear, Biológico, Químico y Radiológico).

Hay que destacar que el Protector es una plataforma con multitud de posibilidades y, quizás, es el USV que mayor grado de madurez tecnológica presenta a día de hoy.

Características	Variante de 9 metros	Variante de 11 metros
Material del casco	RIHB sin flotador fibra de vidrio reforzada.	RIHB sin flotador fibra de vidrio reforzada.
Dimensiones	9 x 3,5 m	11 x 3,5 m
Calado	0,45 m	0,45 m
Desplazamiento	4000 kg aprox. para operar (depende de la carga de pago)	*
Propulsión	Hidrojet con un motor diesel	Dos motores diesel Caterpillar C7 para un hidrojet
Estado de la mar máx. Operacional (Esc. Beaufort)	*	*
Permanencia (horas a velocidad operativa)	Mayor de 48 horas (400nm a 20 nudos)	Mayor de 48 horas(400nm a 20 nudos)
Velocidad Max.	Mayor de 30 nudos	40 nudos
Capacidad de carga	*	*
Rango de operación (millas náuticas)	Más allá de la “LOS”	Más allá de la “LOS”

Tabla 2-2 Características Protector USV.

2.2.2.2 KATANA USV (IAI) [14] [15]

Katana es un USV desarrollado por Israel Aerospace Industries para llevar a cabo múltiples misiones en el ámbito de la defensa marítima. El primer prototipo fue mostrado en 2014 en una exposición de tecnología naval y en 2015 fue expuesto en la “*International Naval Defense and Maritime Exhibition*” en París.

Katana presenta un diseño modular, que le permite adaptarse a las necesidades del usuario mediante el acoplamiento de diferentes cargas de pago. Esta modularidad además marca en este vehículo una gran diferencia con el resto, pues en una rápida modificación se puede configurar como embarcación tripulada con capacidad para transportar hasta cinco personas.

En un principio, este USV se desarrolló para llevar a cabo misiones de identificación, clasificación, seguimiento e interceptación de contactos marítimos a largas distancias. Sin embargo, actualmente

puede ser destinado a realizar misiones de búsqueda y rescate, obtención de inteligencia y protección y vigilancia de zonas marítimas de interés como líneas de tráfico o infraestructuras marítimas. Para la última misión citada, el vehículo puede ser equipado con armamento portátil operado de forma remota junto con un designador POP300D-HD.

El vehículo cuenta con multitud de equipos para el desarrollo de sus misiones. Entre ellos cabe mencionar sus sistemas de comunicaciones tanto con otros contactos como con la estación de control. Estos sistemas de comunicaciones le permiten alcances “*Beyond Line Of Sight*” (BLOS) con la estación de control de forma segura. También está equipado con radar, sistemas de navegación autónoma, sistemas anti-colisión, cámaras termitas y electro-ópticas.



Figura 2-13 Katana USV [14].

El módulo de control puede estar tanto en tierra como embarcado en una unidad de superficie, y desde este se provee al vehículo de instrucciones, control y cambios en la misión.

En cuanto a su capacidad de propulsión, lleva dos motores diesel que le proporcionan una velocidad máxima de 60 nudos y sostenida de 30 nudos, con distancias de operación de 350 millas náuticas.

Hay una versión similar desarrollada por la empresa singapurense “Zycraft” denominado “Vigilant IUSV”.

Características	Datos
Material del casco	*
Dimensiones (m)	11,9 x 2,81m
Calado (m)	*
Desplazamiento (kg)	6500 kg
Propulsión	Dos motores diesel de 560 HP
Estado de la mar máx. Operacional (Esc. Beaufort)	Estado de la mar 4 hasta 6
Permanencia (horas a velocidad operativa)	350 mn a 30 nudos
Velocidad Max.	60 nudos
Capacidad de carga (kg)	2200 kg y 5 pax. cuando sea “manned”
Rango de operación (millas náuticas)	BLOS o LOS

Tabla 2-3 Características Katana USV.

2.2.2.3 EDREDON (POLISH NAVAL INSTITUTE) [16].

Se trata de un proyecto que utiliza el casco de una embarcación neumática de casco rígido (RIHB) como base para el acople de los sistemas que le permiten funcionar como USV y llevar a cabo misiones de vigilancia del entorno marítimo. Tiene opción de control remoto o con tripulantes dada la naturaleza de su plataforma.



Figura 2-14 Edredon USV [16].

Este USV es capaz de llevar un vehículo submarino no tripulado (UUV) y desplegarlo para inspección subacuática de puertos y zonas poco profundas. Actúa así como punto de enlace entre el UUV y la estación de control. Integra sistemas de navegación, monitorización y comunicaciones (incluido un sistema de encriptación de la señal de control del vehículo) para su explotación. Cuenta a su vez con un sistema de control autónomo para corregir o variar su derrota en el caso de que haya peligros no previstos en la planificación inicial.

El manejo del vehículo se hace desde un centro de control mediante un canal de transmisión de datos de control y video en la banda de 2,3 GHz. Desde el centro de control, gracias a los sistemas embarcados en el módulo de control del vehículo, el operador remoto puede:

- Controlar la cinemática del vehículo y tener conocimiento del entorno.
- Controlar sistemas de información como cámaras térmicas, video, radar, etc....
- Modificar la planificación de la misión del vehículo.
- Generar planes para el UUV desplegado desde el USV.
- Analizar la intensidad de tráfico marítimo y decidir sobre las maniobras de la unidad para evitar colisiones.
- Difusión de señales sonoras.
- Registro de datos de navegación (situación alrededor de la unidad y acciones tomadas).

Características	Datos
Material del casco	RIHB “neumática de casco rígido de fibra reforzada”
Dimensiones (m)	5,7 m de longitud
Calado (m)	*

Desplazamiento (kg)	1000 kg sin equipos (solamente la embarcación)
Propulsión	*
Estado de la mar máx. operacional (Esc. Beaufort)	Estado de la mar 4
Permanencia (horas a velocidad operativa)	De 8 a 130 horas dependiendo de estado de la mar y la velocidad.
Velocidad Max.	30 nudos
Capacidad de carga (kg)	1000 kg aprox. y 4 pax. en la opción tripulada
Rango de operación (millas náuticas)	10, 8 MN aprox.

Tabla 2-4 Características Edredon USV.

2.2.2.4 INSPECTOR USV (ECA) [17].

Se trata de un USV, desarrollado por la empresa “ECA GROUP”, con capacidad de llevar a cabo distintos tipos de misiones. Según la información del fabricante, el vehículo está diseñado para poder portar sistemas y sensores de guerra contra minas (MCM), armas ligeras, elementos de protección costera y sensores para llevar a cabo labores de inteligencia.



Figura 2-15Inspector USV [17].

Este vehículo tiene un área de 4 m² a popa para embarcar hasta 600 kg de material y/o equipos. El fabricante hace hincapié en su gran capacidad para ser reconfigurado según las misiones que se quiera que lleve a cabo.

Características	Datos
Material del casco	Rígido de aluminio
Dimensiones (m)	9 x 2,95 (2,55 m para estiba)
Calado (m)	0.6 m

Desplazamiento (kg)	4300 kg para operar
Propulsión	2 hidropulsores diesel de 300 o 326 HP cada uno
Estado de la mar máx. Operacional (Esc. Beaufort)	Estado de la mar 5 tripulado y 4 no tripulado
Permanencia (horas a velocidad operativa)	Mayor de 12h a 10 nudos
Velocidad Max.	35 nudos
Capacidad de carga (kg)	600 kg a popa y 2 pax.
Rango de operación (millas náuticas)	*

Tabla 2-5 Características Inspector USV.

2.2.2.5 “A” FLEET COMMON USV “CUSV” (AAI & GENERAL DYNAMICS). [18].

Se trata de una cuarta generación en el desarrollo de un USV multipropósito para ser operado por la US Navy. El CUSV ha sido desarrollado por la empresa Textron System Advanced Systems en cooperación con AAI Unmanned Aircraft Systems y apoyados por Maritime Applied Physics Corp (MAPC).

Este vehículo presenta un diseño modular que le permite realizar diferentes misiones y ser desplegado desde puerto, cubiertas de buques y desde los dos tipos de LCS (*Litoral Combat Ship*) de la US. Navy. En 2012 fue puesto a prueba para llevar a cabo misiones MCM durante las maniobras Trident Warrior y el resultado fue bueno. Actualmente acumula más de 1800 horas de navegación desde Octubre de 2014.



Figura 2-16 "A" Fleet Common USV [18].

Las unidades en uso están destinadas principalmente a la guerra de minas y se operan desde los buques LCS de la US Navy. Como la mayoría de vehículos de esta familia de UV, el CUSV puede ser configurado para llevar a cabo misiones de guerra de minas (MW), anti-submarina (ASW), ISR, anti-superficie (ASUW) y de despliegue de vehículos aéreos (UAV) y submarinos (UUV).

La gran capacidad de configuración del CUSV se debe a su área de carga de 4,3 x 1,8 x 1 metros de volumen que puede albergar sistemas de guerra contra minas con un sonar de búsqueda o con un módulo

de neutralización de minas, sensores y equipos para ISR, sistemas de despliegue y recogida de otros UV y sistemas de armas no letales. Además, el vehículo cuenta con mástil equipado con radar y cámaras para tareas de vigilancia y seguimiento de contactos. El CUSV también cuenta con un sistema de comunicación satélite y sistemas para la navegación de forma autónoma con antenas retráctiles (radar, AIS, comunicaciones y demás).

El control del vehículo se realiza mediante un sistema de mando y control (C2) de vehículos remotos desarrollado por “AAI Unmanned Aircraft Systems” que cuenta ya con numerosas horas de funcionamiento con UAV en servicio. Este sistema C2 es compatible con el sistema de data-link de largo alcance “Harries Sea Lancet”, que le permite al controlador el intercambio de información con el vehículo. La información se compone tanto de información recogida por los sensores del vehículo como de información para el control del CUSV.



Figura 2-17 Unidad de C2 para el CUSV [18].

Es un sistema que cumple lo estipulado en el STANAG-4586 (*Standardization Agreement*) y el protocolo “JAUS” (*Joint Architecture for Unmanned Systems*).

Características	Datos
Material del casco	*
Dimensiones (m)	11,89 x 3,13 m
Calado (m)	0,7 m
Desplazamiento (kg)	*
Propulsión	*
Estado de la mar máx. Operacional (Esc. Beaufort)	Hasta Estado de la Mar 6
Permanencia (horas a velocidad operativa)	Mayor de 20 horas
Velocidad Max.	28 nudos
Capacidad de carga (kg)	Remolque de hasta 2260 kg a 10 nudos 7,74 m ³ de carga
Rango de operación (millas náuticas)	1200 mn a velocidad crucero

Tabla 2-6 Características "A" Fleet Common USV.

2.2.3 Situación en el ámbito nacional.

En España, estos vehículos no han tenido tanta atención como en otros países del entorno. Sin embargo, hay proyectos y desarrollos incipientes que merece la pena conocer para ser consciente de las capacidades tecnológicas españolas en este campo.

Empresas como UTEK, la viguesa Ferri S.A., Breogán Ingeniería SL., Indra y SCR han llevado o están llevando a cabo el desarrollo de USV para diferentes misiones.

2.2.3.1 DEFENSOR (Breogán Ingeniería SL.) [19].

Se trata del proyecto más similar a los descritos en el apartado 2.2.2.

El Defensor es un proyecto en desarrollo de la empresa “Breogán Ingeniería S.L.” que ha pasado por diferentes fases de diseño y financiación que han provocado que su desarrollo esté siendo lento.

El USV Defensor es un vehículo multipropósito para llevar a cabo misiones de vigilancia, obtención de información y defensa. La empresa que desarrolla este USV busca diseñar un vehículo con alto grado de autonomía, de dimensiones medias, que lo hagan fácilmente transportable, y que también pueda ser dirigido y gobernado a distancia.

En cuanto a la descripción física del vehículo, presenta un casco de fibra de vidrio, reforzado en zonas sensibles con fibra de kevlar, de 7,75 m de eslora y 2,8 m de manga. Los elementos de control del vehículo, navegación y sensores para obtención de información se encuentran en un pequeño puente sobre la cubierta del USV. La propulsión se basa en el empleo de dos “hidrojets” que le permitirían alcanzar velocidades de hasta 50 nudos. Por otro lado, la estación de control del vehículo se encontraría instalada en un contenedor de 20 pies, que puede ser transportado tanto por camiones como en la cubierta de un buque, al que llegará información sobre la situación táctica que rodee al USV y sobre sus propios parámetros de navegación y funcionamiento.

Según las misiones a las que esté destinado, la empresa “Breogán I. S.L.” propone tres soluciones principales que varían pocas de las características ya indicadas:

- DEFENSOR I

Esta opción se presenta para llevar a cabo misiones de vigilancia y observación del entorno marítimo. El vehículo contará con un sistema radar de navegación y vigilancia, cámara de visión TV/IR y sistemas para transmisión de la información táctica a la estación de control. También será capaz de transmitir mensajes por megafonía, así como señales luminosas y sonoras a contactos de su alrededor. El vehículo podrá integrar sistemas de guerra electrónica y obtención de inteligencia. Además, su baja firma radar le permitirá posicionarse con una baja probabilidad de detección.



Figura 2-18 Defensor I [19].

Para la integración de todos estos sistemas adaptables a cada misión, el vehículo contará con una reserva para embarcar 500 kg aproximadamente. En este modelo además se propone la posibilidad de que el vehículo pueda actuar como “relé” de comunicaciones para la retransmisión de datos entre unidades muy distantes o que no puedan comunicarse de forma directa.

Debido a su pequeño tamaño, su gran reserva de flotabilidad respecto a su desplazamiento y la potencia eléctrica que puede suministrar; se trata de un vehículo especialmente centrado en la vigilancia de zonas marítimas y como plataforma de obtención de inteligencia.

- DEFENSOR II

En este modelo, la empresa lucense plantea un USV de características de plataforma casi idénticas a las del “Defensor I” pero con armamento ligero integrado con todos los sistemas de dirección de tiro y control que ello supone. De esta forma el Defensor II queda destinado al desarrollo de operaciones de defensa y protección de plataformas marítimas o de aéreas de interés.



Figura 2-19 Defensor II [19].

El sistema de armamento propuesto es una torre Hitrole 12,70 / 40 mm, con la que ya operan unidades convencionales de marinas de guerra como la holandesa, mejicana y saudí. El armamento sería operado de forma remota desde la estación de control.

El último punto que plantea Breogán Ingeniería SL. en este USV armado, es la incorporación de misiles Spyke o Penguin.

- DEFENSOR SAR

Se concibe como un vehículo no tripulado para búsqueda y salvamento (SAR) de personas en la mar. La plataforma varía ligeramente respecto a los dos prototipos anteriores debido a la naturaleza de su misión. Sin embargo, los sistemas de control y monitorización del vehículo son los mismos. El USV de salvamento ira dotado con:

- 4 balsas salvavidas desplegables con capacidad para 12 personas cada una.
- Botiquín de primeros auxilios.
- Útiles de supervivencia.
- Sistemas de posicionamiento y guía a unidades SAR.



Figura 2-20 Defensor Salvamento [19].

Debido a la necesidad de que el vehículo sea capaz de transportar personas, la capacidad de carga será de 1000 kg (12-15 personas).

Como elemento fundamental del vehículo, el USV irá dotado de un sistema de navegación marítima con sistema de navegación inercial para corrección del posicionamiento GPS. Mediante este sistema, el vehículo será capaz de regresar a un punto de recogida una vez finalizado su despliegue o cuando detecte algún error en la plataforma. Además, para las versiones militares (I y II) se plantea la posibilidad de llevar cargas para autodestrucción y hundimiento por si fuera necesario.

Características	Datos
Material del casco	Fibra de vidrio reforzada y fibra de kevlar en las zonas sensibles.
Dimensiones (m)	7,75 x 2,8 m y 1,8 m de puntal
Calado (m)	*
Desplazamiento (kg)	*
Propulsión	2 motores Volkswagen de 225 Cv + 2 hidrojets
Estado de la mar máx. Operacional (Esc. Beaufort)	Estado de la mar 4
Permanencia (horas a velocidad operativa)	120 horas a 12 nudos
Velocidad Max.	50 nudos
Capacidad de carga (kg)	500 kg Defensor I y II 1000 kg Defensor S.
Rango de operación (millas náuticas)	*

Tabla 2-7 Características Generales Defensor USV [19].

2.2.3.2 KALUGA / SV01P (UTEK).

La empresa “Unmanned Teknologies Applications” (UTEK) surge para desarrollar un USV de alta fiabilidad basado en una embarcación neumática de casco rígido (RIHB) para llevar a cabo funciones de militares y civiles. En el desarrollo del USV “Kaluga” participan además la empresa NARWHAL para la integración de la plataforma y MERCURY (Touren Náutica) en la parte de propulsión del vehículo. Además, UTEK cuenta con el apoyo de la Agencia Espacial Europea (ESA) a través de un programa de desarrollo de empresas por dos años.



Figura 2-21 Kaluga USV [20].

Kaluga es un vehículo en desarrollo y que actualmente cuenta con hasta 100 horas de pruebas en el Pantano de San Juan en Madrid. El estado actual del USV muestra la tendencia de desarrollo principal en vehículos de esta clase, es decir, un casco de RIHB para incorporar una serie de sistemas que le permitan la navegación controlada de forma remota. Cuenta con una estación de control que permite al operador manejar la embarcación de forma directa o semiautomática mediante la introducción de rumbos por radio o de forma totalmente autónoma con enlaces más allá del horizonte (OTH) [20].

Adicionalmente, el USV Kaluga es un OPV (*Optionally Piloted Vehicle*) que por lo tanto puede llevar personal embarcado para operarlo.



Imagen 2-1 Control remoto de Kaluga [20].

Características	Datos
Material del casco	RIHB
Dimensiones (m)	6,7 x 2,7 m y 1 m de puntal
Calado (m)	
Desplazamiento (kg)	2000 kg aprox.

Propulsión	Motor marino Mercury 150 CV
Estado de la mar máx. Operacional (Esc. Beaufort)	*
Permanencia (horas a velocidad operativa)	24 horas en función del régimen de propulsión
Velocidad Max.	42 nudos
Capacidad de carga (kg)	1000 kg
Rango de operación (millas náuticas)	Alcance “LOS”

Tabla 2-8 Características Kaluga USV [20].

En la actualidad, UTEK trabaja en el desarrollo de este vehículo para la integración de sistemas que aumenten sus capacidades, funcionalidades y cargas de pago.

2.2.3.3 SEADRONE (Indra, Marine Instruments, Universidad de Vigo, Gradient).

La empresa española Indra, con el apoyo de la Xunta de Galicia, ha llevado a cabo el desarrollo de un prototipo de USV basado en la estructura de una embarcación neumática de casco rígido (RHIB). En septiembre de 2017, Indra llevó a cabo unas pruebas de mar en la Ría de Vigo en las que el USV fue operado de forma remota dentro de la “LOS”. Las pruebas finalizaron con éxito según la empresa.



Figura 2-22 Seadron USV de INDRA [6].

Se trata de una plataforma de medianas dimensiones ideada para llevar a cabo misiones SAR, vigilancia marítima de puertos y zonas marinas cercanas a costa, control aduanero e investigación medioambiental. La embarcación puede llevar dos personas y material de inspección subacuática para ser desplegado y operado de forma remota.

Apenas hay datos sobre el vehículo en cuanto a características pues se trata tan solo de un prototipo. Sus dimensiones son de 7,3 metros de eslora y 2,6 metros de manga; alcanzando una velocidad máxima de 35 nudos. [6]

Seadron ya anunció que continuará con el desarrollo de prototipo junto con más empresas gallegas del sector. De esta forma buscan conseguir un alto avance tecnológico en cuanto a sistemas de navegación, sensores, construcción de partes del casco, comunicaciones y sistemas de automatización. También se dieron a conocer las intenciones de la empresa en integrar un ROV para operar de forma

remota unido al USV, así como de dotar de un sistema de propulsión eléctrica al USV para navegaciones a baja velocidad. Otro punto que la empresa española evalúa, es la incorporación de sistemas para la obtención de la situación de superficie como cámaras electro-ópticas y otros sensores.

El próximo prototipo, que comienza a desarrollarse tras las pruebas del primer USV de la casa, será una embarcación de mayor tamaño y desplazamiento, con un sistema de agua a presión para lucha contra incendios y un sistema de propulsión que le permita alcanzar 45 nudos de velocidad máxima [6].

2.3 Escenario de las operaciones actuales y el entorno marítimo.

En este apartado se pretende dar a conocer cuáles son las características y en qué situación se encuentra el entorno marítimo para el que los USV serían desarrollados.

Lo primero es caracterizar y dar a conocer qué es una fuerza naval y cuáles son sus principales características. Posteriormente se expondrá un escenario de las operaciones navales que puede tener lugar en un presente muy cercano.

Para desarrollar esta parte del estado del arte, principalmente se ha investigado tanto en documentación de la Armada Española y el Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE) como en fuentes de países aliados como EEUU y Reino Unido.

2.3.1 La Fuerza Naval.

El concepto de Fuerza Naval se define como un conjunto de medios humanos y materiales agrupados y organizados, con el cometido principal de llevar a cabo operaciones militares en y desde la mar [21]. Es decir, aquella fuerza militar que desarrolla su actividad en el ámbito marítimo o proyectándose desde él.

El desarrollo de su actividad le permite contribuir a la defensa del territorio nacional, tanto dentro como fuera del propio territorio, allá donde los intereses nacionales lo requieran.

La Fuerza naval es de naturaleza expedicionaria, esto significa que es capaz de llevar a cabo sus cometidos en zonas geográficas alejadas de sus bases y llevar consigo el sostenimiento necesario para llevar a cabo su misión [21].

Como elemento esencial de una Fuerza Naval moderna hay que contar con los avances tecnológicos para aumentar las posibilidades operativas de cualquier unidad naval. Entre los sistemas que se han adquirido en la Armada Española en los últimos años, y que han aportado ese aumento de capacidad de las unidades, se encuentran los UAV.

2.3.2 Las Operaciones Navales.

Las operaciones navales que lleva a cabo una Fuerza Naval se basan en unos principios que no tienen por qué aplicarse de forma rígida pero que sirven de guía. De entre estos principios se destacan por la relación que pueden guardar con el objeto de estudio de este trabajo los siguientes [21]:

- Flexibilidad: entendida como la capacidad de adaptarse a nuevas situaciones esperadas o no.
- Economía de esfuerzos: hace referencia a la necesidad de alcanzar un equilibrio adecuado entre recursos materiales y humanos, y su aplicación en el tiempo. Se debe hacer uso de la fuerza teniendo en cuenta la capacidad de sostenimiento y regeneración de la fuerza.
- Seguridad: medidas que permiten reducir la vulnerabilidad de la fuerza ante el adversario. No obstante, esta no puede ser excusa para la inacción, pues el riesgo está en la naturaleza de la acción militar.
- Sorpresa: orientada a generar situaciones que limiten la acción enemiga. Es en este punto donde pueden jugar un papel muy importante la innovación tecnológica.

- Legitimidad: que los actos de la fuerza sean legítimos tanto en sus fines como en los medios empleados.

Hay una serie de misiones genéricas que la Armada Española puede llevar a cabo y por las cuales contribuye a la acción estratégica conjunta nacional:

- Gestión de Crisis.
- Disuasión y Defensa.
- Proyección Exterior: dentro de la que se incluye el apoyo a campañas científicas y políticas industriales.
- Seguridad Marítima.

Estas misiones genéricas se materializan en una serie de cometidos operativos que se resumen en:

- Vigilancia y Control del mar.
- Proyección de la Fuerza.
- Ejecución de operaciones.
- Aportación de medios necesarios para la toma de decisiones.

La Vigilancia Marítima consiste en el conocimiento de la situación marítima real mediante la observación del entorno desde distintas fuentes, para su contraste y comprobación. Junto a esto, es importante definir que el “control del mar” es garantizar el libre uso de este para los intereses nacionales, así como tener la capacidad de negárselo a un adversario.

El “control del mar” junto con la vigilancia forman los principales cometidos de la fuerza naval para poder llevar a cabo la Vigilancia Marítima y dar como resultado la Seguridad Marítima.

2.3.3 Escenario de las Operaciones Navales en Seguridad Marítima.

La mar es un medio difícil de regular y vigilar. En los últimos años se ha detectado un crecimiento del número de actividades ilícitas que se llevan a cabo en la mar. Principalmente se trata de actividades llevadas a cabo por organizaciones criminales o grupos terroristas, de forma directa o indirecta. Estos grupos se aprovechan de la libertad de movimiento que aporta el medio marítimo para llevar a cabo una serie de actividades ilícitas cuya posible evolución de puede influir en las características de los escenarios de las operaciones navales futuras.

La utilización del medio marino para acometer actos terroristas no ha sido algo habitual en la última parte del siglo XX y lo transcurrido del S.XXI. Sin embargo, si ha sido el caso, en numerosas ocasiones, en los entornos aéreo y del terrestre. El entorno marítimo es un medio muy complejo en el que no solo se requieren medios materiales, sino que también se necesita una gran formación para ser capaz de coordinar las numerosas piezas del “rompecabezas” que puede implicar la preparación y ejecución de una acción terrorista en la mar.

En los últimos años en mayor medida, y esporádicamente a lo largo del siglo XX, se han dado casos en los que grupos yihadistas (salafistas principalmente) han perpetrado acciones terroristas en la mar contra unidades civiles y militares, e incluso contra infraestructuras portuarias, petrolíferas, etc... Un rasgo muy importante de estos grupos es su capacidad de innovación y adaptación en medios materiales y en formas de actuación frente a los cambios.

A partir de los incidentes ocurridos durante la primera década del siglo XXI, se identificaron los puntos de concentración tráfico marítimo cercanos a tierra (“chokepoints”) como potenciales puntos de interés para estos grupos terroristas debido a las vulnerabilidades que presentan.

Con una visión global es posible determinar que, tras las revueltas de la primavera árabe, se ha generado una gran inestabilidad en diversos escenarios conectados al mar. Costas como la de Libia, Yemen o Somalia son muestra de zonas desestabilizadas, donde proliferan todo tipo de actividades ilícitas. Por otro lado está el Golfo de Guinea, que aunque hasta el momento no haya constancia de actividades terroristas, sí que hay constancia de piratería y otras actividades ilícitas [22].

Un caso relacionado con el entorno marítimo ha tenido lugar recientemente en el Sur de Filipinas. El grupo yihadista “Abu Sayyaf” ha reclutado muchos miembros en zonas de gran influencia pesquera. Gracias a esta influencia pesquera han sido capaces de hacer frente a las autoridades filipinas con embarcaciones de pesca y lanchas rápidas. Es importante conocer este caso, porque demuestra la capacidad de proyección marítima que pueden lograr los grupos terroristas que posean conocimientos y experiencia náutica. Pueden amenazar de esta manera la seguridad de los mares, de los estados ribereños y de la libertad de la navegación. Se trata de una amenaza aún difusa, pero a la que España podría tener que hacer frente en un futuro próximo.

La Vigilancia Marítima es una misión permanente de la Armada que traspasa nuestras fronteras, pues es necesaria allí donde España precisa defender sus intereses, y constituye la principal forma de obtención de información del entorno marítimo.

Una unidad naval es muy útil a la hora de llevar a cabo tareas de Vigilancia Marítima por su gran capacidad de permanencia en la mar. Sin embargo, una de sus principales limitaciones es el radio de obtención de información del entorno marítimo. Frente a esto, se buscan soluciones imaginativas y eficientes mediante el uso de equipos embarcables y modulares que aumenten el radio de obtención de información lo suficiente como para controlar zonas desestabilizadas como las expuestas.

Los escenarios que se han citado como los “*chokepoints*” o las zonas desestabilizadas, donde es importante mantener una buena vigilancia marítima, se corresponden con lo que la Armada Española define como escenarios de baja intensidad, aunque pueden alcanzar características de media intensidad. Los escenarios de baja intensidad hacen referencia a aquellos en los que la amenaza esperada es totalmente asimétrica. Se trata por tanto de acciones llevadas a cabo por pequeños grupos armados o terroristas.

Los escenarios de media intensidad van un paso más allá, pues la amenaza esperada puede incluir oposición militar poco coordinada, con medios asimétricos y unidades de capacidad ofensiva limitada. Es aquí donde un adversario ligeramente preparado podría causar grandes daños mediante el uso de vehículos no tripulados o ataques químicos.

La Armada Española cuenta con unidades preparadas para actuar en este tipo de escenarios de baja a media intensidad, como los Buques de Acción Marítima (BAM) de la clase “Meteoro”. Numerosos países en los últimos años han incorporado UAV a este tipo de unidades navales para aumentar su capacidad de obtención de información en los escenarios en los que operan. Los resultados del uso de UAV han sido buenos y aportan gran cantidad de posibilidades.

Debido a la necesidad de aumentar las capacidades de vigilancia y obtención de información de estas unidades, se puede plantear el empleo de USV por:

- Su gran capacidad de permanencia.
- Su posibilidad de incluir cargas de pago simultaneas para obtener información de superficie, aérea y submarina.
- La posibilidad de utilizar los medios de lanzamiento, recogida y estiba de las embarcaciones orgánicas del buque para desplegar y operar USV.

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Misiones de un USV para la Armada Española.

A la hora de estudiar el uso de USV, hay que tener en cuenta dos factores principales. El primero de ellos es saber qué tipos de misiones pueden llevar a cabo estos vehículos, y el segundo es conocer y estudiar si con el uso del USV se está cubriendo una necesidad real. Es decir, no tendría sentido obtener material que permita aumentar una capacidad si dicha capacidad está suficientemente cubierta ya.

En este punto del trabajo se expondrán estos factores.

3.1.1 Misiones que puede acometer un USV.

Las misiones que un USV puede realizar son múltiples, como se ha visto en varios casos durante la descripción de los diferentes vehículos que existen hoy en día. Sin embargo, muchas de esas aplicaciones se encuentran en desarrollo y podría resultar pretencioso asegurar que esas misiones pueden ser llevadas a cabo por USV.

El primer y más importante factor para determinar si cualquier unidad puede llevar a cabo una misión concreta atiende al grado de desarrollo tecnológico necesario. Dentro de esto hay dos campos destacables, que son la capacidad de explotación de la información y el grado de autonomía que ha de tener el vehículo.

La capacidad de explotación de la información que el vehículo recoja se refiere a que haya un sistema de gestión y uso de la información que no limite al vehículo en el desarrollo de la misión.

El grado de autonomía que el sistema necesita busca principalmente determinar hasta qué punto el vehículo tiene que operar sin intervención de personal desde la estación de control. Conforme el grado de autonomía aumenta, como ya se ha comentado, aumenta la complejidad de las misiones que el USV puede llevar a cabo. Por ejemplo, en una misión en la que el USV no pudiese ser controlado de forma remota como puede ser su empleo fuera de los alcances del horizonte radio, el USV necesitaría un alto grado de autonomía para navegar solo y así poder cumplir su misión. Sin embargo, para vigilar un puerto, el vehículo puede estar controlado o vigilado continuamente desde un puesto de control y por ello no sería necesario que su nivel de autonomía fuese tan elevado.

Pero un excesivo control remoto puede no ser apropiado, aunque parezca la solución instantánea a la automatización. Por otro lado, un grado de autonomía total puede llegar incluso a presentar el dilema de hasta qué punto una máquina inteligente tiene que tomar decisiones que puedan afectar a la seguridad marítima.

Un ejemplo para entender esto es el siguiente: muchas veces la capacidad que tiene una persona para tomar decisiones de forma remota, y sobre todo en la mar, es mucho menor que si estuviese embarcada porque la percepción de la situación por medio de sensores se ve reducida. Y quizás ante una amenaza el USV podría actuar de forma autónoma más rápido que si el operador tuviese que tomar la decisión.

Desde otro punto de vista y atendiendo a términos legales y morales, un USV es una maquina inteligente que con navegar de forma autónoma aplicando el RIPAM (*Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes en la Mar*) ya está tomando decisiones que pueden afectar a la vida de personas en la mar.

Es por todo esto que debe estudiarse detalladamente las necesidades que un vehículo de estas características debe cumplir en cuanto al grado funcionamiento autónomo.

Se establecen como diferentes grados de autonomía los siguientes:

Grado de Autonomía	Descripción
NIVEL 0	No hay modo de operación autónoma, el vehículo tiene que ser operado de forma remota absolutamente.
NIVEL 1	Vehículo capaz de llevar a cabo una función semiautónoma simple, es decir, un ejemplo sería el seguimiento de una ruta de “waypoints”.
NIVEL 2	Igual que la anterior pero el vehículo será capaz de maniobrar para evitar colisiones.
NIVEL 3	Modo semiautónomo avanzado. El vehículo puede variar sus trayectorias para adaptarlas a la mejor opción para alcanzar un punto.
NIVEL 4	Autónomo en la mayoría de actividades controlado por un programa.
NIVEL 5	Autónomo en todas sus actividades controlado por un programa.

Tabla 3-1 Grados de Autonomía en USV [11].

Además, para que un vehículo sea evaluado como viable para llevar a cabo algún tipo de tarea o cometido, tiene que cumplir una serie de requisitos. Según cumpla, o no, estos requisitos, puede clasificarse como una opción muy viable, una opción posible o directamente no cumplir con las necesidades requeridas. Primero hay que evaluarlo con una visión global según los siguientes criterios:

Altamente viable.	Posiblemente viable.
Aumenta significativamente la efectividad o cubre deficiencias.	Aumenta moderadamente la efectividad
Reduce costes, tiempo y riesgos.	Poca reducción de costes, tiempo y riesgos
Es claramente más apropiado que la alternativa tripulada o que otro UV.	Puede ser más apropiado que sus alternativas tripuladas o no tripuladas.
El apoyo, transporte y estiba son asumibles.	El apoyo, transporte y estiba plantean desafíos.
Compatible con las unidades con las que trabajará en cuanto a programación.	Compatibilidad limitada con las unidades con las que trabajará en cuanto a programación.

Tabla 3-2 Criterios para determinar la viabilidad de un USV [11].

En el año 2013 el “*National Defense Research Institute*” [11] estadounidense publicó un documento en el que se establecía hasta un total de 68 misiones a evaluar para la aplicación de USV. Como resultado, se determinaban como misiones altamente viables para ser llevadas a cabo por USV las que se describen a continuación.

3.1.1.1 *C4ISR (Command, control, communicating, computers, intelligence, surveillance and reconnaissance).*

Es un tipo de actividad dedicada a la obtención y transmisión de información sobre el entorno, contactos o las condiciones de una zona determinada. Muchas de estas misiones se hacen de forma encubierta o simplemente de forma que no se llame la atención, sobre todo aquellas relacionadas con la obtención de inteligencia sobre el adversario.

Por lo general este tipo de cometidos están encaminados a establecer comunicaciones seguras, conocer el entorno, llevar a cabo acciones de guerra electrónica, obtener inteligencia de unidades enemigas o del tráfico marítimo general de la zona; es decir, aportar la máxima información posible para conocer o vigilar una zona u objetivo.

Dentro de este bloque que incluye gran variedad de tareas específicas se pueden diferenciar, según el grado de amenaza, dos escenarios:

- Ambientes permisivos.
- Ambientes hostiles.

Dependiendo de en cuál de los dos ambientes opere el vehículo, se necesitarán capacidades más o menos exigentes para el USV.

3.1.1.2 *Medidas Contra Minas.*

En este tipo de tareas, los USV pueden jugar un papel importante como elementos de despliegue y punto de enlace entre vehículos submarinos no tripulados UUV y las estaciones de control (CS), manteniéndose así las unidades tripuladas fuera de las zonas de peligro de minas.

3.1.1.3 *Plataforma de entrenamiento y apoyo.*

En este caso, los cometidos a llevar a cabo por los USV se basan en la capacidad que presentan para funcionar como plataformas de entrenamiento. Ejemplos de estos adiestramientos serían que el USV actuase como un FAC/FIAC (*fast attack craft / fast inshore attack craft*) para adiestramiento de unidades convencionales contra esta amenaza, como remolcador de un blanco, o simplemente como plataforma de pruebas para equipos o sistemas de futura adquisición.

3.1.2 *Necesidades de la Armada Española.*

El COPNAV de 2015 (Concepto de operaciones navales) que publica el AJEMA (Almirante Jefe del Estado Mayor de la Armada), es el documento que orienta entre otras cosas la definición de criterios generales para la preparación de la Fuerza Naval y la formulación y actualización de capacidades de esta. Para ello expone las necesidades y capacidades que presenta su fuerza de forma general.

En este documento se definen unas funciones “posibilitadoras” (traducción del inglés “*enablers*”) que permiten llevar a cabo las acciones de la Fuerza Naval. Estas funciones o elementos “posibilitadores” son según el COPNAV de 2015 [21]:

- **Conocimiento del Entorno Marítimo.** Aspecto fundamental para el desarrollo de toda Operación Naval.
- **Capacidad C4ISTAR** (“*Command, Control, Communications, Computers, Information/Intelligence, Surveillance, Targeting Acquisition and Reconnaissance*”) y

Ciberdefensa. Un sistema de mando y control que permita reducir los ciclos de decisión y aumente la cantidad y calidad de la información recogida. Cada vez es más importante que los equipos y sistemas de la Fuerza sean resistentes a ciberataques.

- **Apoyo Logístico Operativo.** Aunque las unidades navales poseen un alto grado de autonomía logística, para misiones prolongadas tiene que haber unidades específicas para dar este apoyo.
- **Protección de la Fuerza.** La seguridad de la fuerza frente a amenazas no convencionales es vital para el éxito de las operaciones militares.

En la siguiente tabla se puede ver los cometidos asignados a las diferentes unidades de la Armada en cuanto a Seguridad Marítima y tres de las funciones posibilitadoras anteriores por la relación que pueden tener con el uso de USV.

FUERZAS NAVALES	UNIDADES	Seguridad Marítima	Conocimiento del Entorno Marítimo	C4ISTAR	Protección de la Fuerza
FUERZA DE ACCION NAVAL	LHD		X	X	
	LPD		X	X	
	FRAGATAS		X	X	
	BAC		X	X	
FUERZA DE ACCION MARITIMA	MCM	X	X		
	PATRULLEROS DE ALTURA	X	X		
	PATRULLEROS LIGEROS	X	X		
INFANTERIA DE MARINA	FUPRO	X			X

Tabla 3-3 Cometidos de las unidades de la Armada [21].

Como se expuso en el punto 2.3.3, en este ámbito se esperan escenarios de baja intensidad con posibles rasgos de media intensidad y la amenaza que ello conlleva. En la tabla superior se puede ver que las unidades destinadas a la Seguridad Marítima no tienen como cometido llevar a cabo funciones “C4ISTAR”. Solamente unidades de la Fuerza de Acción Naval tiene asignado estos cometidos quizás por la capacidad de gestión de información y de Mando y Control que presentan estas unidades. Dentro de las funciones C4ISTAR de una unidad de la Armada entra:

- Funciones de Mando y Control que permitan la evaluación de la situación.
- Transmisión de comunicaciones.
- Funciones de vigilancia.
- Funciones de reconocimiento.
- Designación de blancos.
- Obtención de inteligencia.

Se trata de funciones que pueden contribuir de forma muy importante al “Conocimiento del Entorno Marítimo” y para llevar a cabo misiones de “Seguridad Marítima”.

En el caso de las funciones de Vigilancia, Reconocimiento, designación de blancos y obtención de Inteligencia, los buques de acción marítima se encuentran limitados como toda unidad de superficie por

el horizonte. Por ello, actualmente emplean medios aéreos como helicópteros y UAV para suplir esta limitación.

Aumentar su radio de acción en estas funciones les puede aportar gran cantidad de información útil para el “Conocimiento del Entorno Marítimo” y la “Seguridad Marítima”.

Pero como se ha expuesto en el punto 2.2.1 “Comparación con otros vehículos no tripulados.” La principal limitación de los medios aéreos es la permanencia que tienen en vuelo, factor clave para llevar a cabo misiones de vigilancia y conocimiento del entorno. Esto desemboca en que los vehículos aéreos tripulados o no tripulados no puedan explotarse de forma continua. Además, en el caso de un helicóptero, el desgaste humano es un factor que limita la capacidad de este para operar.

En este sentido, un USV desplegable desde cualquier buque de Acción Marítima, podría aportar a este una gran capacidad para conocer el entorno y llevar a cabo una vigilancia casi continua de la situación como una unidad más de superficie.

Según los criterios expuestos en la Tabla 3-2, un el uso de un USV para llevar a cabo labores de vigilancia y seguridad marítima se evalúa de la siguiente forma (quedan subrayados los factores del USV):

Altamente viable.	Posiblemente viable.
<u>Aumenta significativamente la efectividad o cubre deficiencias.</u>	Aumenta moderadamente la efectividad
<u>Reduce costes, tiempo y riesgos.</u>	Poca reducción de costes, tiempo y riesgos
Es claramente más apropiado que la alternativa tripulada o que una no tripulada.	<u>Puede ser más apropiado que sus alternativas tripuladas o no tripuladas.</u>
<u>El apoyo, transporte y estiba son asumibles.</u>	El apoyo, transporte y estiba plantean desafíos.
Compatible con las unidades con las que trabajará en cuanto a programación.	<u>Compatibilidad limitada con las unidades con las que trabajará en cuanto a programación.</u>

Tabla 3-4 Evaluación general USV para llevar a cabo tareas de vigilancia y seguridad marítima.

A continuación se justifica la selecciones de la Tabla 3-4.

El “aumento significativo de la efectividad o cobertura de deficiencias” queda explicado con las prestaciones que pueden dar estos sistemas no tripulados y las limitaciones que las unidades de Acción Marítima presentan para llevar a cabo la vigilancia del entorno marítimo. Un buque de Acción Marítima que pudiese embarcar un USV para complementar sus actividades de vigilancia, aumentaría significativamente su área de cobertura. Además, hay que tener en cuenta que la única limitación que transportar un USV puede suponer al buque es tener que reemplazar una de las dos RHIB; a no ser que el USV se lleve estibado en la toldilla. Por lo tanto, el buque quedaría alistado con una RHIB, un USV y una aeronave tripulada. De esta forma, la embarcación RHIB se usaría para llevar a cabo misiones de apoyo al buque, el USV sería utilizado para realizar labores de vigilancia como un sensor más de buque y la unidad aérea embarcada estaría dedicada a llevar a cabo las intervenciones en las que se requiera rapidez y uso de la fuerza. Con estos medios, una secuencia de hechos podría ser:

El USV desplegado detecta un contacto que presenta indicios sospechosos y se aproxima para obtención de información. Posteriormente la unidad aérea embarcada lleva a cabo una investigación exhaustiva del contacto mientras el USV vuelve a realizar sus tareas de vigilancia normales.

Con esto se quiere reflejar que la presencia de un USV en los buques de Acción Marítima de la Armada, puede hacer su trabajo más efectivo puesto que el área barrida se podría aumentar considerablemente.

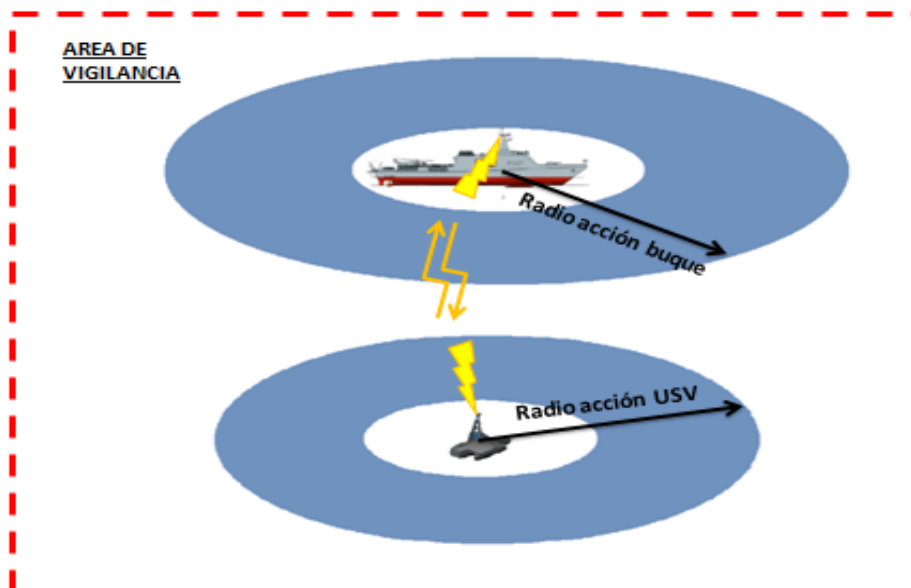


Figura 3-1 Área de cobertura con USV.

En cuanto a la reducción de costes, tiempo y riesgos se puede decir que un USV reduciría los tiempos en cubrir un área de vigilancia debido al aumento del área obtención de información del buque. Además, al tratarse de una embarcación no tripulada, los riesgos para la tripulación frente a amenazas asimétricas inesperadas quedarían eliminados. Sin embargo, aunque los costes de operación pueden ser menores que para operar una unidad tripulada debido al personal, la realidad es que se trata de equipos que van a requerir un gran nivel tecnológico que puede tener un coste elevado.

El USV puede ser más apropiado que unidades tripuladas para llevar a cabo esta misión, pues se trata de una tarea monótona que en la que el personal disminuye su eficacia conforme transcurre el tiempo y baja su nivel de atención (especialmente durante periodos nocturnos). También puede ser más apropiado que otra unidad no tripulada como puede ser un UAV como ya se ha explicado en el punto 2.2.1.

Dadas las capacidades de transporte que presentan los buques de la Armada destinados a realizar vigilancia marítima, el transporte, apoyo y estiba de un USV es asumible siempre y cuando el vehículo cumpla con unos requisitos de dimensiones y desplazamiento. Todos estos buques de la Armada tienen espacio para cargas modulares y para la estiba de embarcaciones semirrígidas de hasta siete metros y medio. En este punto sería objeto de estudio el sistema de largado y recogida del USV para que fuese compatible con los sistemas ya presentes en los buques.

La compatibilidad del vehículo en cuanto a sistemas de control y transmisión de información depende de los sistemas que se están desarrollando para UAV con este mismo fin. Se trata de un sistema que permitirá el control de los vehículos, así como el manejo de la información que estos aporten, todo ello con un mismo sistema integrado para todos los tipos de UAV. Este sistema en desarrollo es denominado “MAJIIC” (*Multi-intelligenceall-source joint intelligence surveillance and reconnaissance interoperability coalition*).

3.1.3 Descripción de la misión C4ISR de un USV para la Armada.

Como continuación y particularización del apartado 3.1.1.1 en el que se describe de forma general las misiones de C4ISR para USV, en este punto se describirán las características de la misión para el caso de la Armada.

En este tipo de misiones cobran gran importancia los equipos y sensores que recogen información de distintos tipos:

- SIGINT (Inteligencia de Señales)
 - COMINT *Communications Intelligence*
 - ELINT *Electronic Intelligence*
 - TELINT *Telemetry Intelligence*
- IMINT (Inteligencia de Imágenes)
 - OPTIN *Optical Intelligence*
 - PHOTINT *Photografy Intelligence*
 - EOPINT *Electro-optical Intelligence*
 - IRINT *Infrared Intelligence*
- MASINT (Inteligencia de Firmas)

Por lo tanto, los medios de obtención de información toman mayor importancia que el capital humano, aunque este si pueda tomar importancia a la hora de evaluar la información recogida a posteriori. Por ello hay que asegurar un sistema fiable y eficiente para la transmisión de la información.

3.1.3.1 Escenario o teatro de la misión.

El escenario en el que se desarrollan estas operaciones es muy variable, por lo general depende en mayor medida de las condiciones meteorológicas y de la cantidad y clase de tráfico marítimo que haya en la zona. Por la situación actual y el aumento del desarrollo de actividades ilícitas en la mar y sobre todo cerca de zonas desestabilizadas, es muy probable que estas operaciones se desarrollen en aguas cercanas a costa, es decir, zona litoral.

En la zona litoral, el tráfico marítimo suele ser de mayor cantidad y más difuso que mar adentro. Mar adentro se crean rutas de tráfico marítimo que concentran la mayoría de buques de transporte de grandes dimensiones, por lo general. Sin embargo, en la zona litoral el tráfico marítimo no suele seguir rutas preestablecidas y las embarcaciones suelen ser de menor porte, dedicadas principalmente a la pesca y al ocio. Al tratarse de embarcaciones de dimensiones relativamente pequeñas, que en muchas ocasiones no cuentan con sistemas de identificación automáticos, tanto detectarlas como identificarlas y clasificarlas puede resultar una tarea compleja.

En este escenario la amenaza no es inminente, no se trata de actividades hostiles en la mar en todos los casos, sino que la mayoría de las veces se tratará de actividades encubiertas que intentaran pasar desapercibidas en el medio marítimo para dar soporte a grupos delictivos. Ejemplo de este tipo de actividades pueden ser el tráfico de personas o armas y la piratería. No obstante, la amenaza puede tomar forma de enfrentamientos asimétricos con embarcaciones pequeñas y rápidas, armas ligeras e incluso misiles o cohetes de corto alcance.

Todo esto hace que el USV tenga que ser capaz de reaccionar contra las amenazas de alguna forma, ya sea con medidas “hardkill” para enfrentar de forma activa la amenaza o “softkill” para evadirla. El vehículo además tendrá que ser rápido y poco detectable (“stealth”). Incluso se podría plantear la posibilidad de ser desechable.

3.1.3.2 Necesidades de grado de autonomía y comunicaciones.

Como mínimo resultaría necesario que el USV fuese capaz de navegar de forma autónoma, así como de evitar colisiones con otros contactos y con elementos del medio (bajos, costa e infraestructuras). Además, el vehículo tendría que ser capaz de variar su cinemática para reaccionar ante amenazas o para cumplir nuevas tareas asignadas. Para esto, un gran punto a favor podría ser, el uso de sistemas de navegación inercial como complemento a los sistemas de navegación GNSS (*Global Navigation Satellite System, GNSS*), proporcionado actualmente por GPS (*Global Position System*) y, en el futuro también por el sistema europeo de navegación GALILEO.

En el ámbito de las comunicaciones, tanto para el control de la unidad como para la transmisión y recepción de información, el vehículo debe ser compatible con los sistemas de la CS (*Control Station*) del buque madre, mediante uno o varios canales de comunicación seguros y robustos frente a las interferencias. El USV también tiene que ser capaz de almacenar la información para su retransmisión en caso de que la conexión se viese interrumpida en algún momento por necesidades de discreción o por cortes accidentales.

Se diferencian dos situaciones en las que puede operar un USV atendiendo a su forma de control, el canal para la explotación de la información que recogen sus cargas de pago y la distancia a la que operan de su CS en la mar. La primera de ellas es la actuación de estos vehículos en un teatro más allá del horizonte de la unidad controladora; y la segunda es su operación dentro del horizonte radio del buque donde se encuentre la estación de control.

En el caso de operar más allá de la LOS (*Line of Sight*), el vehículo requerirá un mayor grado de autonomía, pues la capacidad de control que la CS del buque puede tener sobre el USV se ve limitada al no poder usar VHF o UHF para la transmisión de órdenes y la recepción de la situación que rodea al vehículo.

Una solución para este caso podría ser el uso de comunicaciones por satélite para el traspaso y la explotación de la información recogida por los sensores del vehículo. La explotación de la información se podría realizar tanto por la CS embarcada como por un centro de explotación de la información terrestre de nivel operacional o incluso estratégico. Además, las comunicaciones vía satélite también pueden servir para la retransmisión de órdenes desde la CS al USV, para lo que será necesario disponer de un canal de comunicaciones satelitales bidireccional, al objeto de que la CS conozca la posición del USV cuando sea necesario. Sin embargo, la transmisión de órdenes de control no debe ser exagerada, recordemos que el vehículo posee cierto grado de funcionamiento autónomo y tiene que poder funcionar sin conexión con la CS por si esta cayese. Es por esto que se tiene que tratar de órdenes básicas de ejecución de misiones con un PIM (*Position of intended movement*) y no de parámetros de control directo de la embarcación (cambios continuos de rumbo, velocidad y rutas).

Otra opción en el control BLOS (*Beyond LOS*) podría resultar de futuros desarrollos en el ámbito de los sistemas HFDL (*High Frequency Data-Link*) que incrementen su utilidad para ejercer el control de este tipo de vehículos.

Una vez recibidas las órdenes, el USV debería ser capaz de adaptar su comportamiento y método de navegación según las órdenes recibidas y el entorno que lo rodea. Para poder hacer esto, el nivel de autonomía del vehículo debe ser moderadamente elevado, y como se ha expuesto en el punto 3.1.1 debería ser como mínimo un NIVEL 3 según la Tabla 3-1. Con este nivel de autonomía y las comunicaciones para la transmisión de la información y control del vehículo, su funcionamiento podría ser viable.

Funcionamiento más allá de la "LOS"

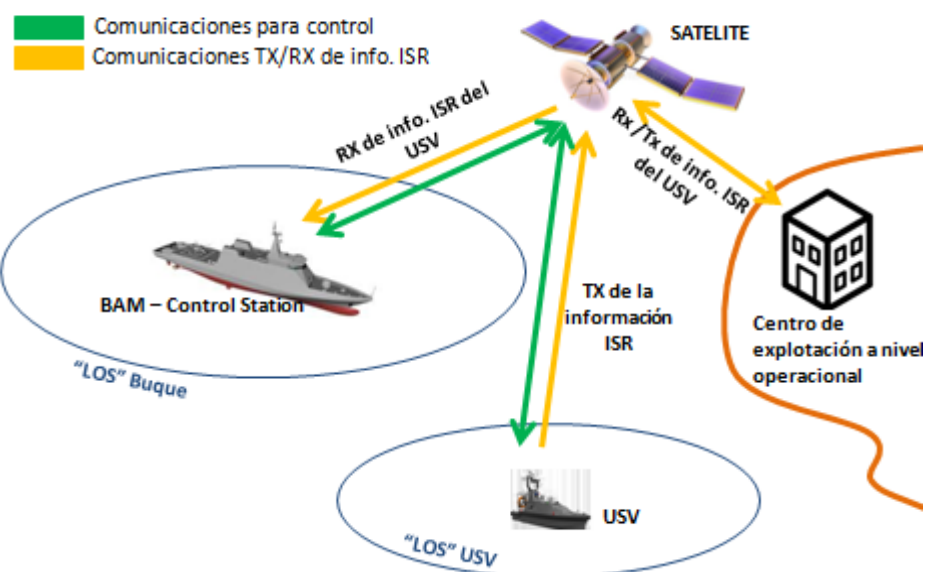


Figura 3-2 Conexión de comunicaciones "BLOS".

También se presenta el caso en el que el vehículo opere dentro de la LOS como apoyo directo a la situación táctica del buque. En este caso, el sistema de transmisión de la información a nivel táctico podría ser el mismo que para mantener el control del USV, pues en UHF se podría llegar a transmitir y recibir toda esta información.

Funcionamiento dentro de la "LOS"

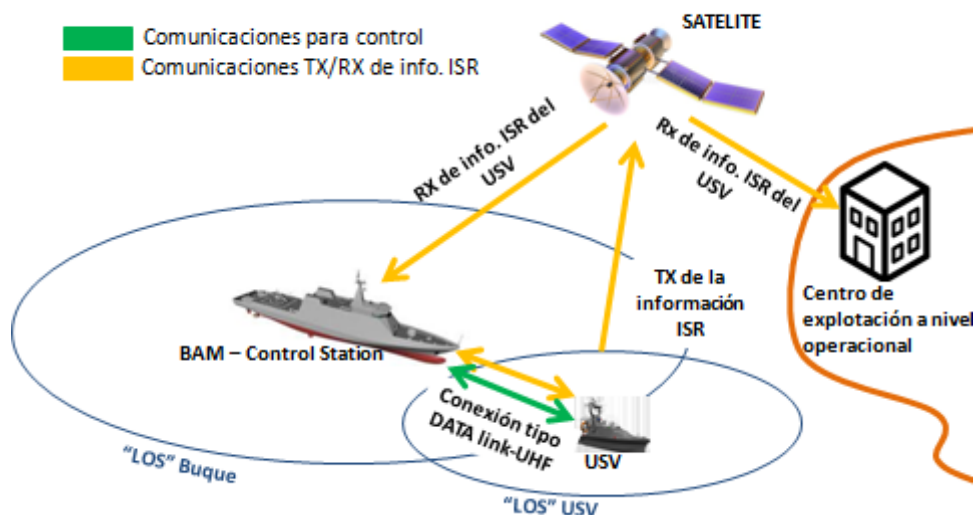


Figura 3-3 Conexión de comunicaciones "LOS".

En este caso el control sobre la embarcación podría ser casi remoto, es decir, el nivel de autonomía del USV no necesitaría ser tan elevado y podría bastar con un NIVEL 2 según la Tabla 3-1.

Actualmente hay proyectos que tratan de desarrollar sistemas de control similares para UAV, en los que la información recogida por las cargas de pago es almacenada en servidores disponibles a la comunidad aliada OTAN vía satélite, mientras que el control del vehículo lo lleva a cabo una CS terrestre o embarcada.

El programa MAJIC2 Surge debido a esta necesidad de interoperabilidad (compatibilidad) para el procesamiento y aprovechamiento por la comunidad de inteligencia de la información obtenida por los

distintos sensores desplegados. El objetivo de MAJIIC2 es definir, implementar y demostrar la viabilidad de los estándares y capacidades que permiten compartir productos ISR y optimizar el uso de los recursos de vigilancia y reconocimiento. También es objeto de este programa mejorar el conocimiento de la situación a través del empleo y uso colaborativo de productos, sensores y capacidades de explotación [23]. Hay una serie de estándares OTAN (STANAG) que regulan el formato y forma de procesamiento de la información de los sensores de unidades de ISR, así como los medios de control y transmisión de información para los UAV. Se busca conseguir que este sistema sea compatible entre los diferentes sistemas de explotación de la información de los países OTAN.

Además, también existen estándares internacionales desarrollados en el ámbito civil, como la “arquitectura conjunta para sistemas no tripulados” (JAUS – *Joint Architecture for Unmanned Systems*). Es un estándar civil, aunque tiene su origen en el Departamento de Defensa de los EEUU para uso militar de los UGV. El estándar define los protocolos de comunicación para sistemas de vehículos no tripulados y su interacción con las estaciones de control. Para ello utiliza un enfoque de arquitectura orientada a permitir el mando y control distribuido de los vehículos.

Los documentos más destacables por su contenido y posible relación con los USV pueden ser los siguientes:

Documento	Materia que trata.
JAUS	Joint Architecture for Unmanned Systems.
STANAG 4586	Ordenes de control desde la CS al UAV. Intercambio de información entre la carga de pago del UAV y la CS.
STANAG 4545	EO, IR e imagen SAR (radar de apertura sintética).
STANAG 4607	Información GMTI.
STANAG 4609	Video EO e IR.
STANAG 5516	Gestión de mensajería para posicionamiento y seguimiento.

Tabla 3-5 Documentación sobre la estandarización de medios ISR OTAN.

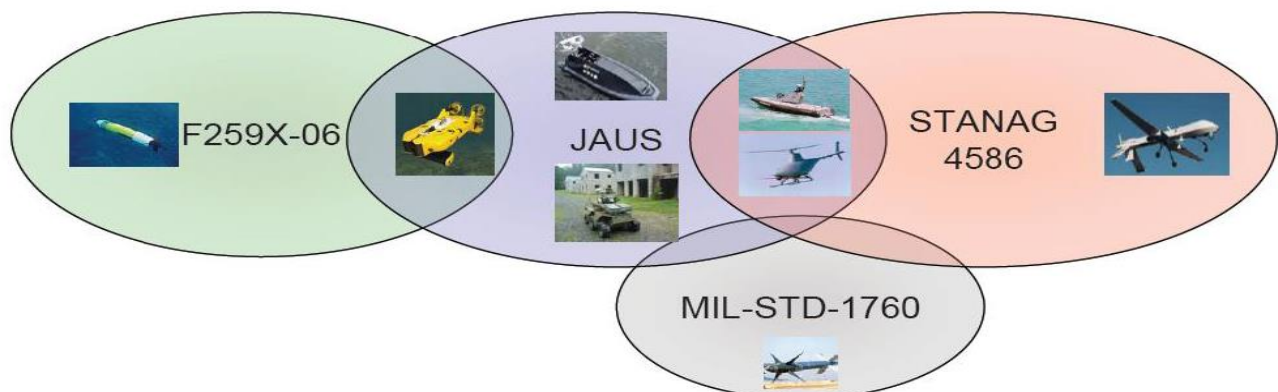


Figura 3-4 Documentación de estandarización OTAN para UV [24].

Además, resulta necesaria una mayor investigación y desarrollo en este campo, que aprovechando las enseñanzas de lo que se está desarrollando para los UAV, tenga como objetivo el desarrollo de los

sistemas y aplicaciones necesarias para el mando y control y la explotación de la información de los USV en diferentes escenarios, así como al mismo tiempo garantizar su compatibilidad e interoperabilidad con otros sistemas. Este aspecto puede ser el factor clave para lograr que esta tecnología incipiente despegue.

3.1.3.3 Sensores necesarios para obtención de información ISR y ambiente.

Atendiendo a la funcionalidad de la información recogida por los equipos y sistemas ISR, los sensores que debe integrar el vehículo no tripulado se pueden dividir entre:

Equipos para necesidades del USV

Sistemas que permitan el funcionamiento del vehículo de forma autónoma. Esta información del entorno, además de ser procesada por el vehículo, también deberá ser transmitida a la estación de control (CS) del vehículo y al centro de explotación de la información.

Equipos y sistemas de este grupo que se usan para embarcaciones de dimensiones similares o que podrían ser integrados en los USV de ISR por su tamaño son:

- RADARES de navegación que pueden llegar a tener alcances de hasta 24 millas náuticas.
- TRANSCEPTOR AIS (*Automatic Identification System*) tanto para apoyo a la navegación como para comprobación de información.
- PLOTTER como sistema de cartografía y concentración de la información para la navegación.
- SONDADOR.
- GPS/ GALILEO con corrección de posición mediante un sistema inercial de navegación.

Equipos dedicados únicamente a la obtención de información

Sistemas del tipo de cámaras de TV, EO (electroóptica) e IR (infrarroja), así como equipos de ESM (*Electronic Support Measures*), etc. Este tipo de información sería directamente transferida a la CS o el centro de explotación de información a nivel operacional para su evaluación. La información ISR obtenida por medio de estos equipos, en general, no es útil para el funcionamiento del USV.

Ejemplos de sistemas de este grupo que usan embarcaciones de dimensiones similares o que podrían ser integrados en los USV de ISR por su tamaño son:

- Sistema ISR multipropósito.
- Cámaras EO-TV-IR multipropósito como las que ya hay en servicio en servicio en la Armada Española.
- Equipos de ESM como los embarcados en unidades aéreas de la Armada.

En este aspecto, el vehículo ha de presentar una configuración modular que le permita variar su carga de pago dependiendo del objetivo principal de la misión específica que vaya a llevar a cabo.

No obstante, hay equipos para necesidades del vehículo como la navegación autónoma, que son indispensables a su vez para la obtención de información. Es decir, ambos bloques son de vital importancia para el establecimiento de la situación de superficie en el área de vigilancia asignada (OA – *operating area*).

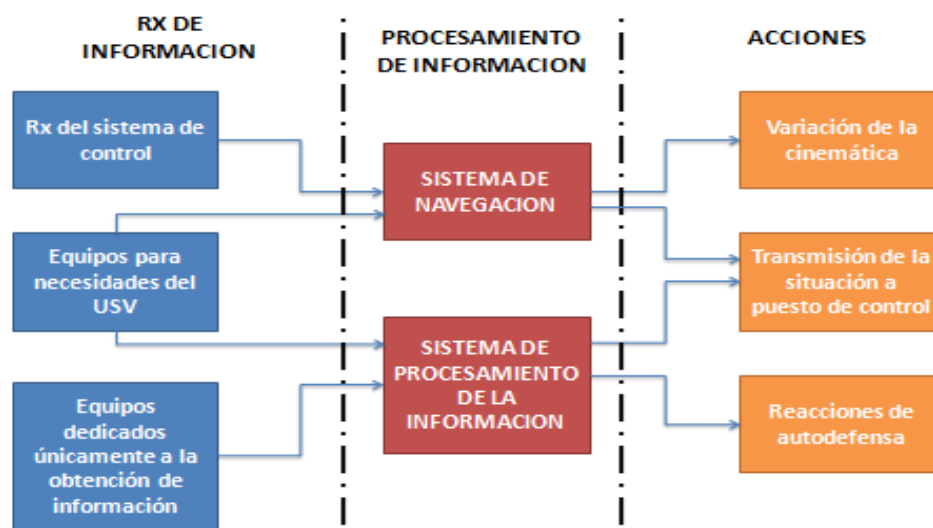


Figura 3-5 Esquema de sistemas del USV.

Según la Tabla 3-1, el nivel de autonomía del vehículo de superficie para cumplir con las necesidades que el escenario plantea debe ser “NIVEL 3”. El “NIVEL 2” podría ser pobre a la hora de afrontar una misión en un escenario de baja intensidad en el que existiese alguna amenaza, o para operar más allá de horizonte, como ya se ha explicado.

3.1.3.4 Clases de plataformas USV para llevar a cabo esta misión.

Los USV para llevar a cabo este tipo de misión pueden ser evaluados desde distintos aspectos.

Como se ha explicado, el USV estaría diseñado para operar en escenarios de baja intensidad, por lo que la amenaza y peligros son relativamente escasos y de poca entidad por lo general. Según este requisito operativo, el tamaño del vehículo puede variar, pero siempre teniendo en cuenta que cuanto más pequeño y menos perceptible sea, más difícil será que sea detectado por aquellos que realicen actividades ilícitas en la mar. Sin embargo, en contraposición a lo anterior, los escenarios de baja intensidad contienen zonas litorales y de tráfico marítimo donde la densidad del tráfico puede ser muy variable en cantidad y características, por ello, cuanto menos detectable sea, también podrá entrañar algún riesgo de colisión con buques o embarcaciones que se encuentren en la OA (*Operating Area*) del USV si el sistema de navegación de éste falla.

También se ha comentado la gran importancia que presenta el poder usar la información que el vehículo recoja, explotándola y haciéndola útil para evaluar la situación marítima. En este sentido, cuanto mayores sean las dimensiones del vehículo, mayores serán sus capacidades de integración de sistemas de comunicaciones, de obtención de ISR y de procesamiento de la información de los sensores para el funcionamiento autónomo del USV. En todo caso, este será un factor de vital importancia a la hora de determinar las dimensiones de la unidad.

Como gran punto a favor de los USV, repetido a lo largo del trabajo, la capacidad de permanencia que estos pueden tener es muy alta. Tanto mayor será esta capacidad cuanto mayor sea el tamaño y la disponibilidad de espacio para almacenamiento de combustible que los USV presenten.

Teniendo en cuenta los puntos descritos en este apartado, y a modo de resumen, ha de tratarse de una plataforma relativamente reducida, pero que permita el soporte necesario para la integración de los equipos de comunicaciones, de obtención de información y de propulsión necesarios. Además, tiene que tratarse de una unidad desplegable desde unidades de vigilancia marítima de la Armada.

Un ejemplo de este tipo de embarcaciones sería un USV basado en la plataforma de una RHIB de 7,5 metros de eslora aproximadamente dado que la mayoría de sistemas, estibas y espacios de los buques de la Armada están preparados para embarcaciones de ese tamaño. En muchos de los casos estudiados

en el Estado del arte, los USV se basan en este concepto para garantizar la interoperabilidad de despliegue, recogida o apoyo logístico. De esta forma tanto los medios de despliegue, recogida y apoyo logístico en términos de plataforma están ya desarrollados y en uso.

3.2 Desarrollo de un sistema multicriterio para selección de un USV.

En este punto del trabajo se pretende seleccionar el USV más adecuado para ser empleado en la Armada según una serie de criterios que, en algún caso, pueden ser contrapuestos.

Para mitigar la limitación que algunas unidades de la Armada presentan al llevar a cabo misiones de vigilancia marítima y obtención de información ISR; en este trabajo se propone el uso de vehículos de superficie no tripulados con grado de funcionamiento autónomo nivel de 2 a 3 dependiendo del modo de operación.

Los vehículos a evaluar serán los descritos en el Estado del arte, más concretamente dos vehículos extranjeros y uno nacional de especial interés, ya que las políticas de Defensa para la obtención de material se centran en el apoyo a la industria y tecnología española.

El sistema de selección que se utilizará como ayuda y medio para la toma de la decisión “mejor USV para la Armada Española” es el “Proceso de Análisis Jerárquico” (AHP- *Analytic Hierarchy Process*) desarrollado por Thomas L. Saaty en 1980 que se ha descrito en el punto 1.2.2.

Los criterios y sub-criterios utilizados en este caso serán los siguientes:

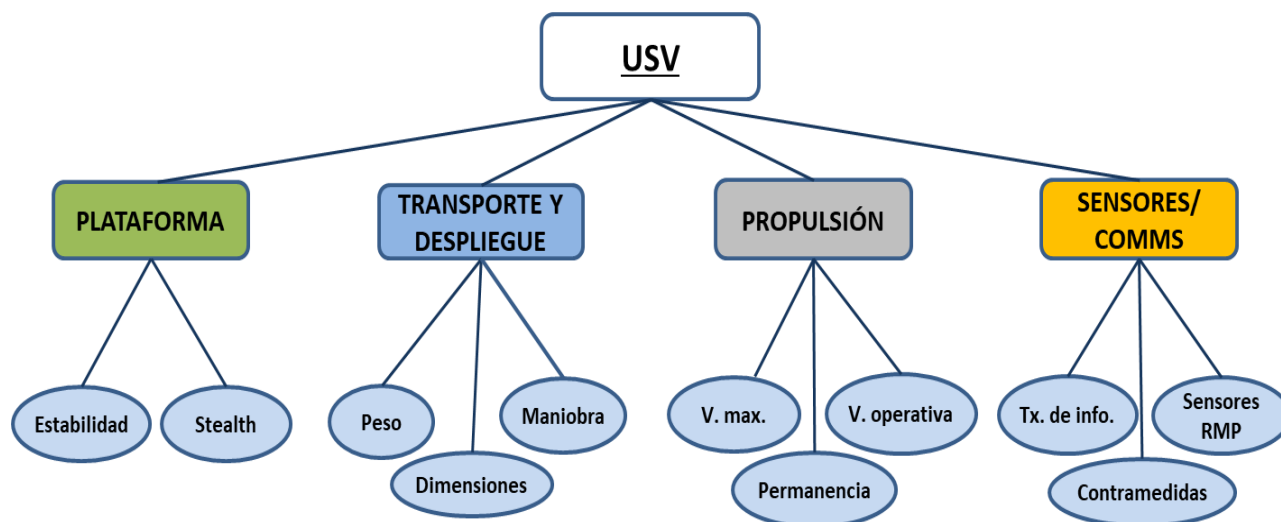


Figura 3-6 Criterios y sub-criterios para evaluación de los USV.

Si bien hay multitud de criterios que se pueden tener en cuenta a la hora de evaluar la obtención de material para las FF.AA.; como es el coste (de compra, de mantenimiento, de reinversión en la industria nacional), el mantenimiento que necesita el sistema y las actualizaciones que haya que llevar a cabo conforme pase el tiempo, no se ha podido encontrar materia acerca de ellos durante el trabajo. Haría falta contar con fuentes de información privadas para alcanzar ese tipo de información. Además, al tratarse de sistemas tecnológicos generalmente poco maduros, es difícil encontrar información acerca del ciclo de vida de estos sistemas.

Tras el periodo de estudio y de investigación que se llevó a cabo durante las primeras semanas del trabajo, se determinan los siguientes criterios y sub-criterios para evaluar las distintas alternativas:

PLATAFORMA: se refiere al casco y estructura del USV que van a definir sus condiciones de navegación.

- **Estabilidad:** define el nivel de “Estado de la mar” máximo en la escala Beaufort que puede soportar el vehículo.
- **Aspecto “Stealth”:** que el barco sea lo más discreto posible. Aunque muchas veces el término “stealth” se use para referirse a algo que tenga una baja SER, la realidad es que se puede ampliar el término a muchos más aspectos en los que un sistema debe ser discreto para no alertar de su presencia.

TRANSPORTE Y DESPLIEGUE: evalúa la facilidad de estiba, despliegue y recogida.

- **Peso:** puede limitar el uso del vehículo desde unidades navales por los medios con los que estas cuentan (grúas, pescantes, etc.)
- **Dimensiones:** los espacios que las unidades de la Armada tienen para estibar embarcaciones por lo general están pensadas para albergar RHIB de eslora de 7.5 metros, manga de 2.8 metros y una altura sobre la quilla de 1.2 metros.
- **Maniobra:** el grado de sencillez y compatibilidad de la maniobra de largado y recogida de la embarcación que esta puede presentar.

PLANTA PROPULSORA: va a determinar las capacidades del vehículo en términos de distancia recorrida mientras opera y demás prestaciones.

- **Permanencia:** para aumentar su efectividad frente a otras unidades no tripuladas, el USV debe que ser capaz de estar el máximo tiempo posible desplegado. Se ha decidido no denominar este punto como “autonomía” porque podría dar lugar a confusiones con el “nivel de funcionamiento autónomo” del vehículo.
- **Velocidad operativa:** la velocidad que pueda mantener el USV que le permita barrer la mayor área posible mientras recoge la mayor cantidad de información que le permitan sus sensores.
- **Velocidad máxima:** velocidad que debe necesitar el vehículo para interceptar o seguir a un contacto, o para salir de una zona peligrosa.

SENSORES Y COMUNICACIONES: la capacidad de obtener información y que ésta sea útil.

- **Transmisión y recepción de información y ordenes:** capacidades que pueden presentarlos USV para transmitir o recibir la información que recogen sus sensores, así como la capacidad de C2 (*Command and Control*) que presenta el vehículo para poder ser controlado.
- **Contramidas:** sistemas que le permiten al vehículo evadirse de un peligro o amenaza.
- **Sensores RMP (“Recognized Maritime Picture”):** a mayor número y calidad de los sensores que incorpore el USV, mayor cantidad de información podrá recolectar. En este punto se evalúa muy positivamente la modularidad de las cargas de pago/ sensores que pueda integrar el USV de forma que se puedan adaptar a los diferentes escenarios y misiones.

A primera vista puede ser complicado establecer el orden de importancia que debe tener cada sub-criterio debido a su número. Para reducir esta problemática, mediante el uso de AHP y con la ayuda de las opiniones de expertos, se ha llevado a cabo la comparación por pares para todas las posibles combinaciones. Esta comparación primero se realiza para los criterios principales y posteriormente para los sub-criterios.

A continuación, se muestran los pesos de los sub-criterios obtenidas mediante las evaluaciones introducidas en las matrices de Excel por parte de los diferentes evaluadores:

José Cuartero Rodríguez (*Alférez de Fragata – Escuela Naval Militar*) como autor de este trabajo, he realizado una evaluación de los pesos de los criterios previa al estudio de las opiniones de los expertos. Como resultado de esta evaluación previa se muestran los valores del Gráfico 3-1.

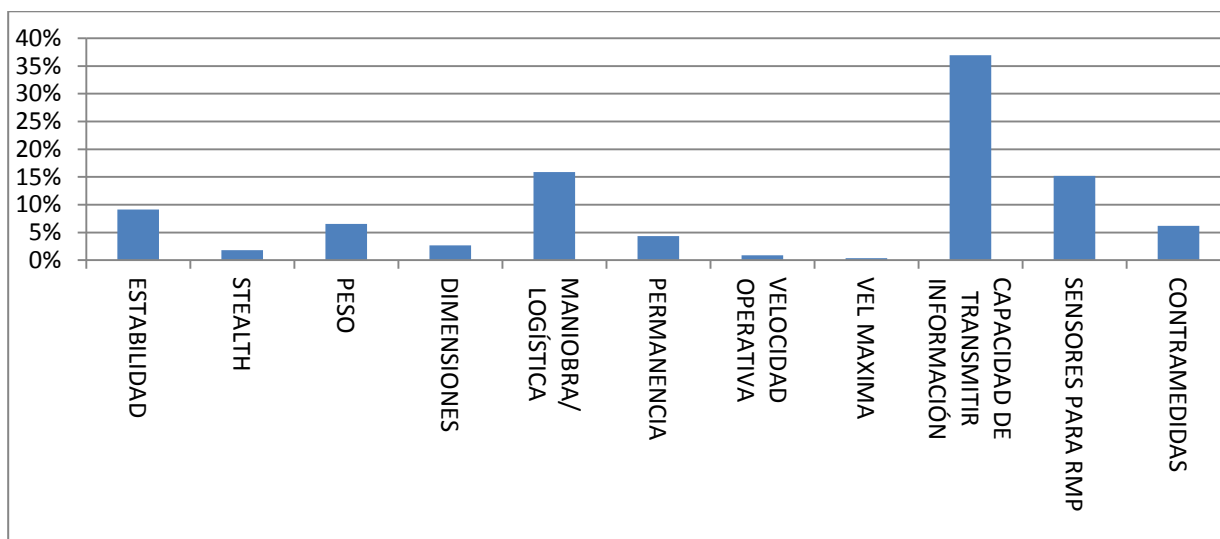


Gráfico 3-1 Asignación de pesos por sub-criterios inicial AF. Cuartero.

El “**Decisor 1**” del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica del MINISDEF, realizó una evaluación de los criterios y sub-criterios que dan como solución los pesos del Gráfico 3-2.

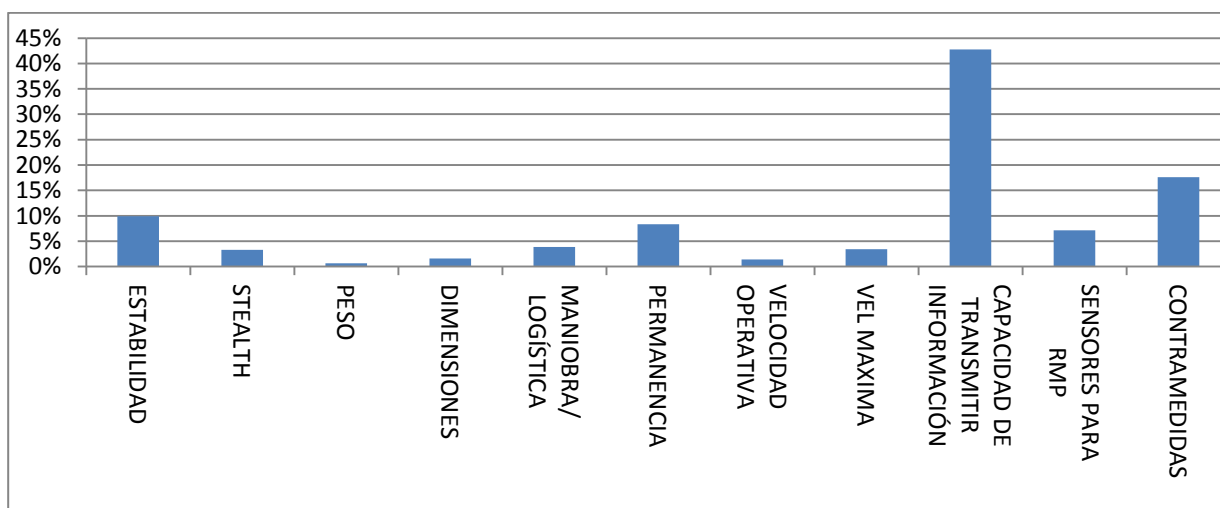


Gráfico 3-2 Asignación de pesos por sub-criterios del Decisor 1.

El “**Decisor 2**” es un Oficial de Cuerpo General de la Armada con gran experiencia que trabaja actualmente en la industria naval. Realizó la evaluación de los criterios y sub-criterios que dan como solución los pesos del Gráfico 3-3.

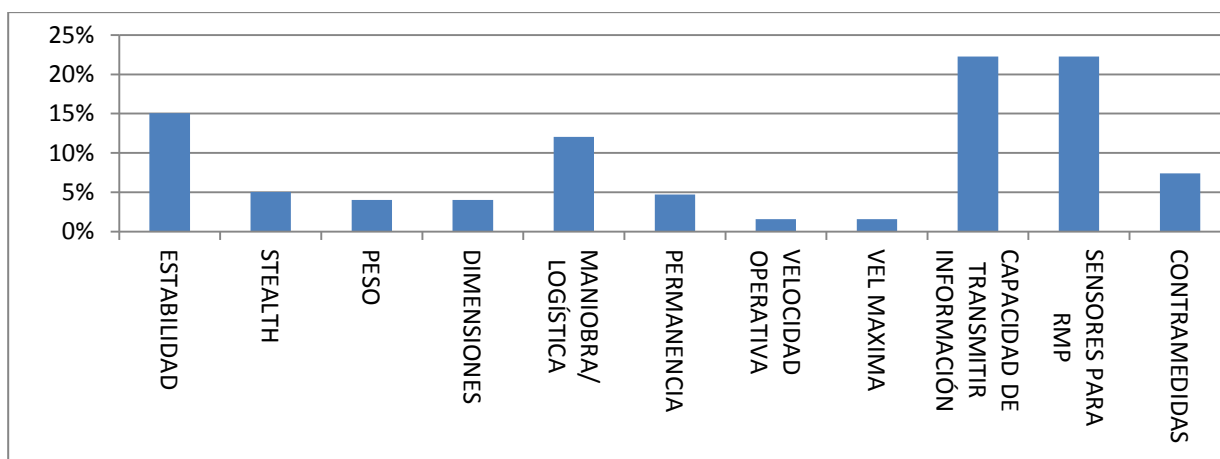


Gráfico 3-3Asignación de pesos por sub-criterios del Decisor 2.

El “**Decisor 3**” perteneciente a la Unidad de Prospectiva y Estrategia Tecnológica de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) realizó la evaluación de los criterios y sub-criterios que resultan en los pesos del Gráfico 3-4.

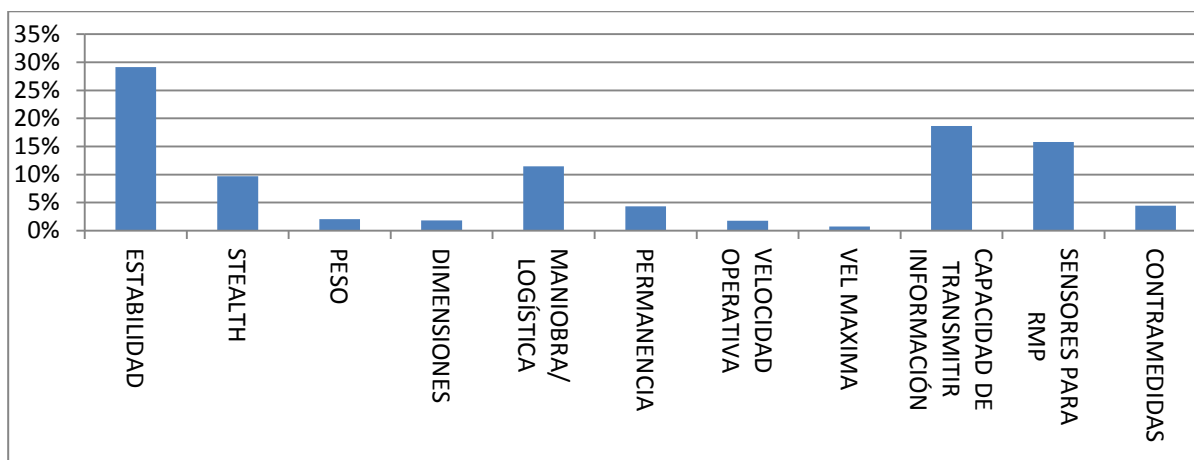


Gráfico 3-4Asignación de pesos por sub-criterios del Decisor 3.

El “**Decisor 4**” es un Oficial de Cuerpo General de la Armada, que actualmente trabaja como profesor en la Escuela Naval Militar. Realizó la evaluación de criterios y sub-criterios que se muestra en el Gráfico 3-5.

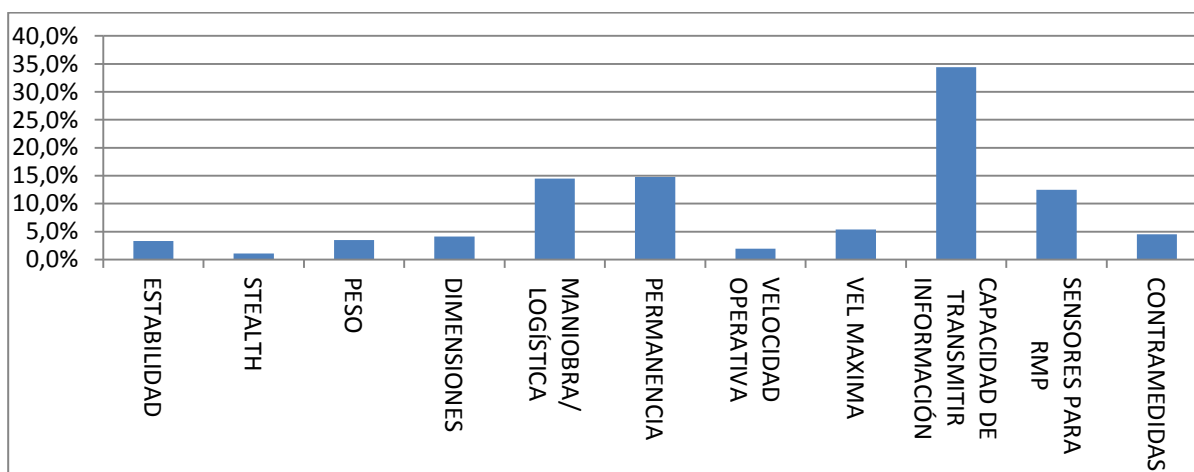


Gráfico 3-5Asignación de pesos por sub-criterios del Decisor 4.

Los gráficos “Gráfico 3-3” y “Gráfico 3-4” presentan un punto de vista operativo al tratarse de personal que pertenece o ha pertenecido a las FF.AA. Sin embargo, el “Gráfico 3-2” muestra un punto de vista técnico ya que ha sido realizado por un profesional con conocimientos y experiencia en la tecnología relativa a UV.

Tras el estudio de las cuatro evaluaciones de los decisores, y aunque difieran ligeramente entre ellas, hay un patrón general de asignación de pesos común que prima la asignación de peso a “estabilidad”, “maniobra/logística”, “capacidad de Tx/Rx de información” y “sensores para RMP”.

Para combinar las evaluaciones de los decisores se puede hacer una media geométrica de los valores introducidos en las matrices de cada decisor (AIJ – *Aggregation of Independent Judgments*) o de los pesos que cada uno ha asignado a cada sub-criterio (AIP – *Aggregation of Independent Priorities*). Sin embargo, la segunda opción es más recomendable por tratarse de un grupo de decisores reducido [25].

En este trabajo, en vez de combinar las evaluaciones de los decisores se han estudiado las cuatro evaluaciones por separado y han servido para modificar y fundamentar la evaluación final del autor del TFG. Se ha comprobado además, que realizando la media geométrica de los pesos asignados en cada una de las cuatro evaluaciones iniciales (AIP), apenas varían los porcentajes asignados a cada sub-criterio respecto a los finales de la Tabla 3-6.

Un claro ejemplo que hace modificar la evaluación inicial es el mayor peso que tanto el Gráfico 3-3 como el Gráfico 3-4 dan a la estabilidad para que el vehículo garantice el buen funcionamiento de los equipos y sensores y que verdaderamente el vehículo pueda operar en condiciones meteorológicas que no sean ideales. Otro aspecto es reducir la diferencia de asignación de pesos entre “Capacidad de Tx/Rx de la Información” y “Sensores para RMP”, pues deben ser cosas casi parejas tanto para obtener información útil como para poder explotarla y evaluarla.

Por lo tanto, una vez estudiadas las evaluaciones de los expertos de forma detallada, se ha realizado una evaluación final de criterios y sub-criterios para asignar los valores definitivos, que se muestra en el Gráfico 3-6.

Los valores de la escala de Saaty que se han introducido en las matrices de comparación en Excel para obtener los datos de la Tabla 3-6, son los mismos que se han de introducir en las matrices del programa “PriEst” a fin de llevar a cabo la selección de alternativas.

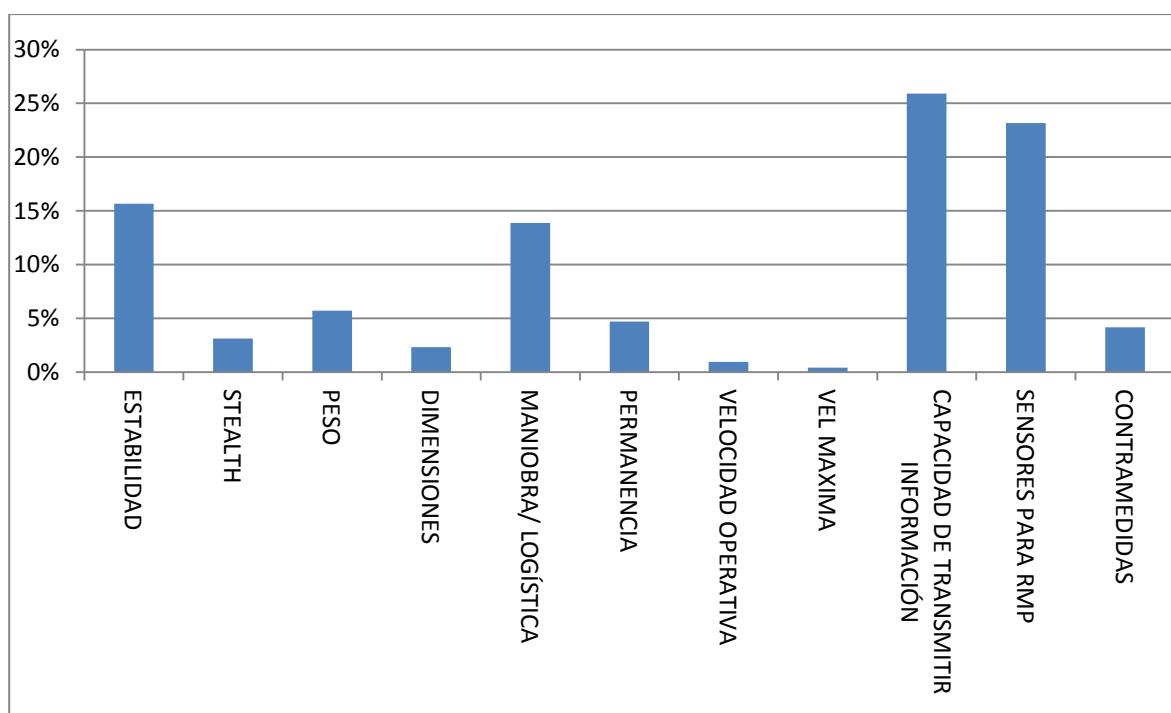


Gráfico 3-6 Asignación de pesos por sub-criterios final.

3.3 Asignación de pesos final y selección de alternativas a evaluar.

Como continuación del punto anterior, la asignación de pesos quedaría definida de la siguiente forma:

Criterios principales	Sub-criterios	Peso final asignado
PLATAFORMA 18,79%	Estabilidad	15,66%
	Stealth	3,13%

TRANSPORTE Y DESPLIEGUE 21,93%	Peso	5,71%
	Dimensiones	2,33%
	Maniobra/ logística	13,88%
PROPULSIÓN 6,07%	Permanencia	4,71%
	Velocidad operativa	0,94%
	Velocidad máxima	0,42%
SENSORES Y COMUNICACIONES 53,23%	Capacidad Tx./Rx. de información	25,90%
	Sensores para RMP	23,17%
	Contramedidas	4,16%

Tabla 3-6 Asignación final de pesos para sub-criterios.

Llegado este punto se deben seleccionar los vehículos que se van a ser evaluados. De los vehículos descritos en el punto 2.2 se escogerán dos vehículos extranjeros y uno nacional. Estos tres vehículos se han seleccionado porque son los que presentan mayor información sobre sus características y podrían cumplir mejor con requisitos de la Armada.

Han quedado excluidos aquellos de los que no se conocen varias características o que simplemente se desvían mucho de las necesidades que puede requerir la Armada.

Son por lo tanto el “Defensor”, el “Protector” y el “Inspector” los vehículos que se van a evaluar.

	DEFENSOR	PROTECTOR	INSPECTOR
ESTABILIDAD	Est. Mar 4	Est. Mar 4	Est. Mar 4
STEALTH	Casco rígido fibra con superestructura	RHIB sin flotador con superestructura de fibra	Casco rígido de aluminio
PESO		4000 kg aprox.	4300 kg
DIMENSIONES	7,75 x 2,8 m	9 o 11 x 3,5 m	9 x 2,95 m
MANIOBRA/ LOGÍSTICA	Media	Media	Media
PERMANENCIA	120 h (12 nudos)	Más de 48h	Más de 12 h a 10 nudos
VELOCIDAD OPERATIVA	12 nudos (1400 millas*)	20 nudos (400 nm)	10 nudos (120 millas)
VEL MAXIMA	50 nudos	40 nudos	35 nudos
CAPACIDAD DE TRANSMITIR INFORMACIÓN	Media	Buena	Media
SENSORES PARA RMP	Bueno	Bueno	Medio
CONTRAMEDIDAS	Armamento	Armamento y bomba contra incendios	NO

* Puede ser un dato temerario de afirmar. Hay que tener en cuenta que "Defensor" es tan solo un proyecto.

Tabla 3-7 Características de los USV que se van a evaluar.

Aunque el “peso” del “Defensor” no se conozca, al saber sus dimensiones, material y demás características; se puede evaluar que el peso de dicho USV será similar o inferior al de los otros dos candidatos.

3.4 Análisis.

La comparación de USV como alternativas se ha realizado para cada sub-criterio según la información de la Tabla 3-7. En los siguientes gráficos de vectores obtenidos por la herramienta “PriEst”, se puede ver cómo quedan evaluados por pares los tres USV para cada sub-criterio según los pesos de la Tabla 3-6.

3.4.1 Plataforma.

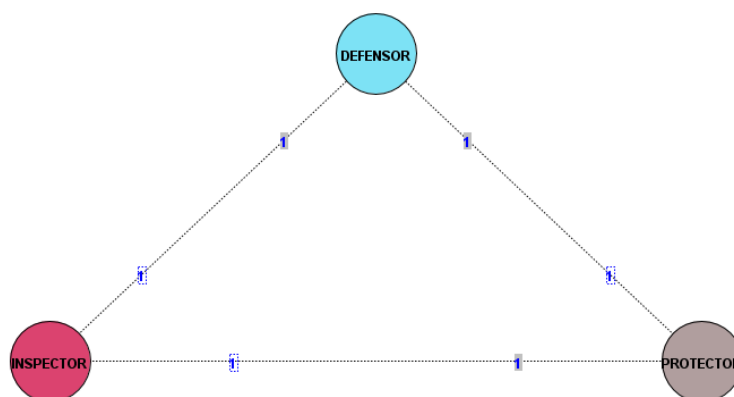


Figura 3-7 Evaluación por estabilidad.

Según la se ha expuesto en la Tabla 3-7, todos los vehículos pueden navegar y operar hasta un estado de la mar 4. Es por ello que, aunque este sea un sub-criterio muy importante, no diferencia cualitativamente a los candidatos y todos reciben por tanto la misma valoración.

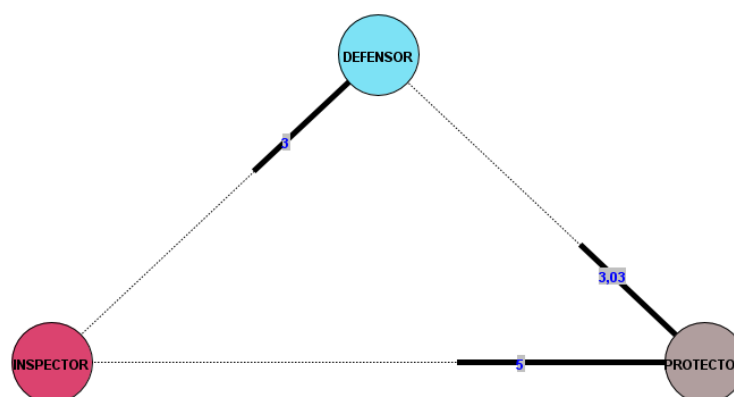


Figura 3-8 Evaluación por aspecto "stealth".

Según el grado de discreción del vehículo, el USV “Inspector” sería el peor valorado. Esto se debe a que su casco y estructura son de aluminio, lo que permite una fácil detección por sistemas radar frente a los otros dos vehículos de fibra de vidrio.

3.4.2 Transporte y despliegue.

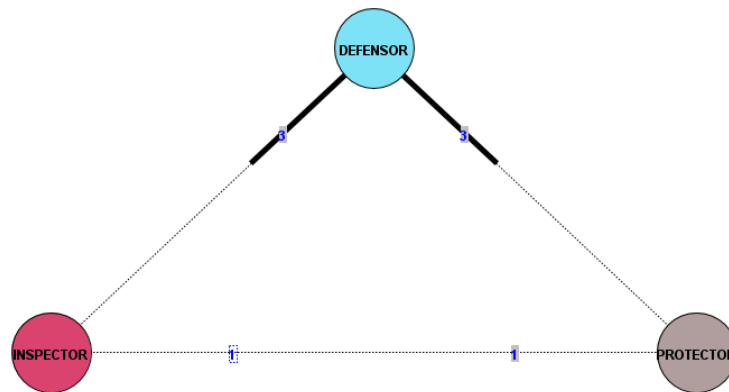


Figura 3-9 Evaluación por peso.

Según el peso del vehículo, el “Defensor” es probablemente (recordemos que es un proyecto) el USV más ligero y por ello sería mejor que los otros dos candidatos en mismo grado de preferencia.

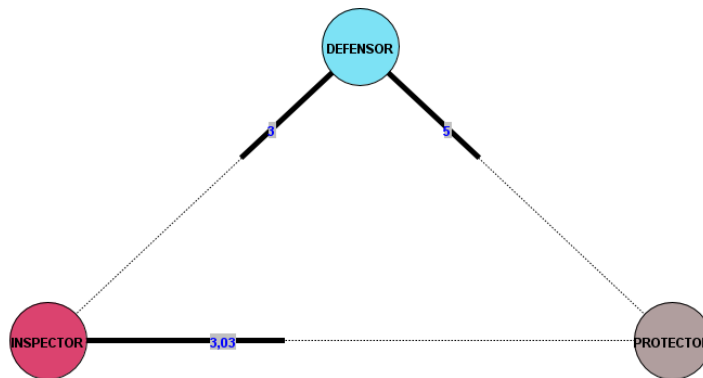


Figura 3-10 Evaluación por dimensiones.

En cuanto a dimensiones, el defensor también sería mejor que las otras dos opciones por presentar menor tamaño. Pero esta vez el “Inspector” y el “Protector” no tienen la misma valoración. El “Protector” es el USV peor valorado según este sub-criterio.

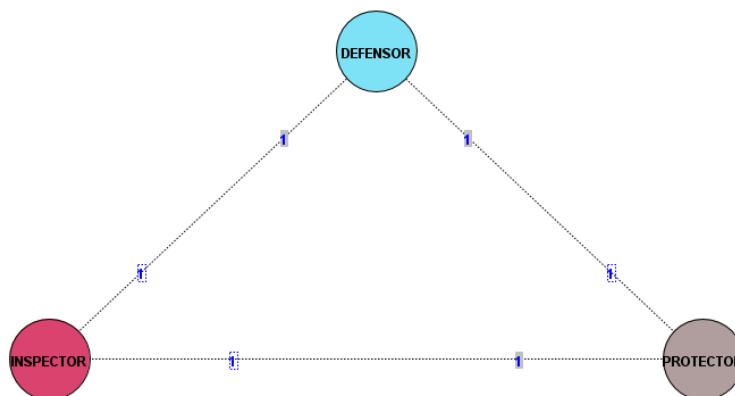


Figura 3-11 Evaluación por maniobra/logística.

Para el sub-criterio “maniobra/logística” todos los vehículos han recibido la misma valoración, pues realmente ninguno de los vehículos está diseñado exactamente para los sistemas presentes en los buques de la Armada.

3.4.3 Propulsión.

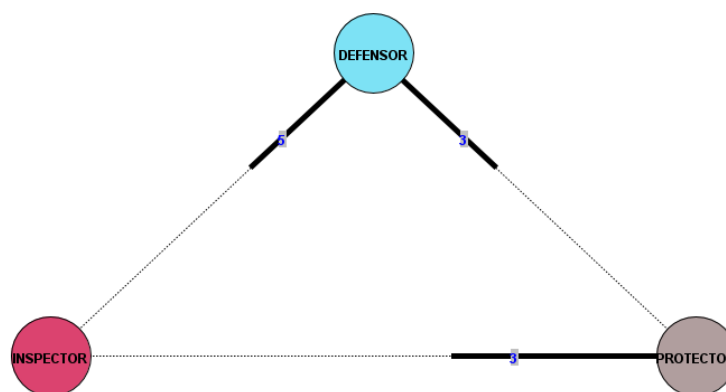


Figura 3-12 Evaluación por permanencia.

Atendiendo al tiempo que los USV son capaces de operar de forma sostenida, el “Defensor” es el vehículo mejor valorado. No obstante, hay que tener en cuenta que las 1400 millas náuticas que presenta el “Defensor” puede ser una cifra temeraria. Por ello, tan solo se le ha otorgado una puntuación de “3” sobre el siguiente vehículo que es el “Protector”.

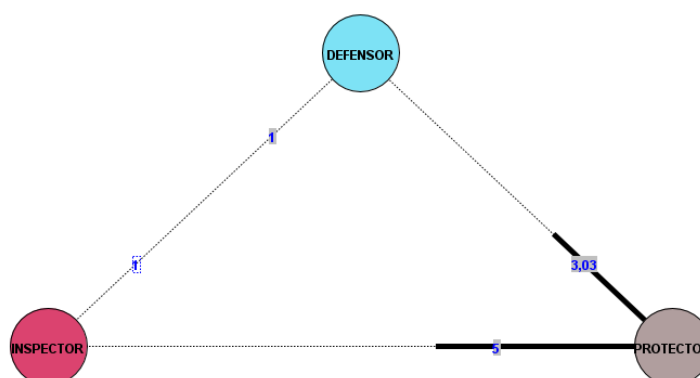


Figura 3-13 Evaluación por velocidad operativa.

La velocidad operativa que presentan el “Defensor” y el “Inspector” es similar. Sin embargo, cuando se comparan con el “Protector” por separado, la diferencia entre ellos se hace mayor. El “Protector” es por tanto el vehículo mejor valorado en cuanto a “velocidad operativa”.

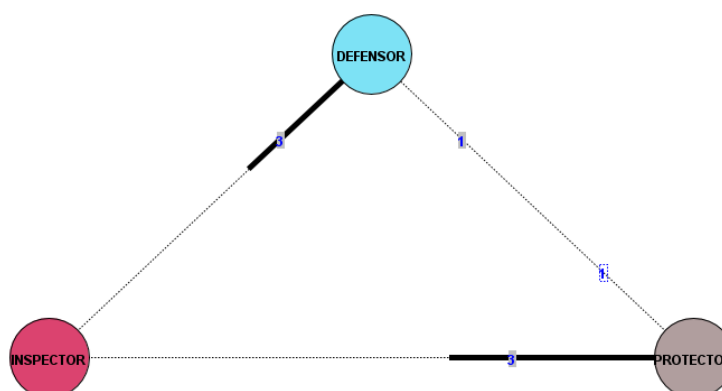


Figura 3-14 Evaluación por velocidad máxima.

Según el sub-criterio “velocidad máxima”, el “Defensor” y el “Protector” obtienen la misma puntuación frente al “Inspector”. La diferencia de velocidades entre los mejor valorados es difícil de determinar por la posible temeridad del proyecto “Defensor” al no haber sido puesto a prueba aún.

3.4.4 Sensores y comunicaciones.

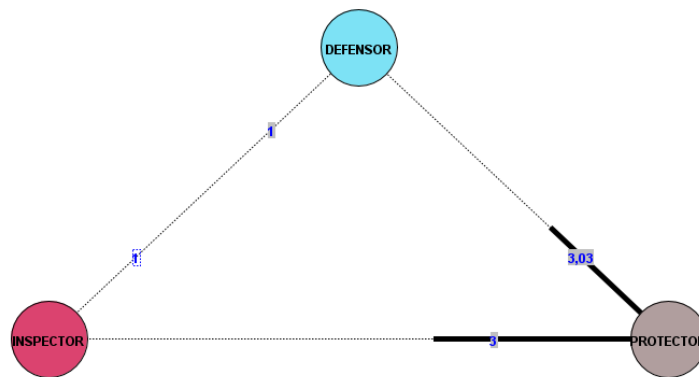


Figura 3-15 Evaluación por capacidad de Tx/Rx de información y de señales de C2.

Para el más importante de los sub-criterios el USV israelí obtiene la ventaja al tener ya desarrollado un sistema de control por data-link aunque no sea el específicamente necesario. Por ello, quizás sea el que haga al “Protector” obtener el mayor peso en la clasificación final del AHP.

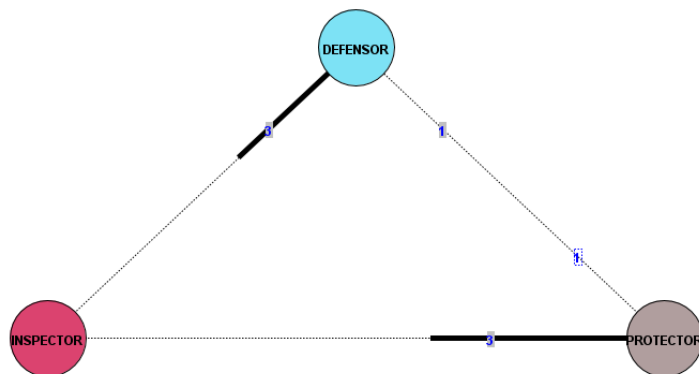


Figura 3-16 Evaluación por sensores para la RMP.

En cuanto a la integración de sensores para levantar la RMP (*Recognized Maritime Picture*), el candidato español “Defensor” y el “Protector” obtienen la misma ventaja con respecto al “Inspector” debido a la fácil modularidad que presentan para integrar diferentes cargas de pago.

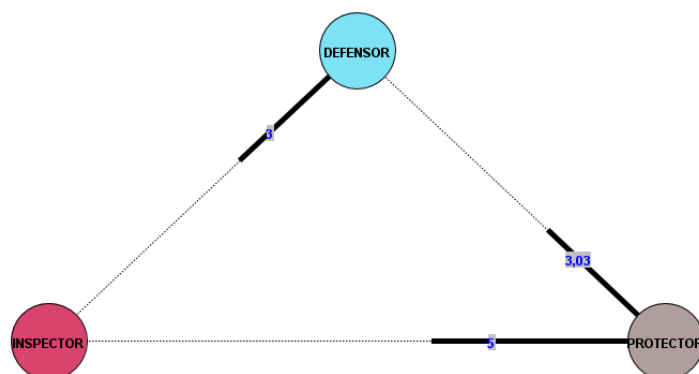


Figura 3-17 Evaluación por contramedidas.

Según las contramedidas con las que pueden contar los USV, el “Protector” es el mejor evaluado por no solo poder llevar medidas “hardkill” como armamento, sino que también puede llevar medidas “softkill” como una bomba de agua a presión que puede dificultar la aproximación a una pequeña embarcación hostil.

4 RESULTADOS

4.1 Selección de alternativa.

El programa “Priest” presenta como resultado la asignación de pesos de las alternativas una vez evaluadas para todos los sub-criterios. Los pesos que recibe cada alternativa se ven en los cuadros de colores en la parte inferior de la Figura 4-1. Siendo los colores que identifican a los vehículos los mismos que en el Análisis.

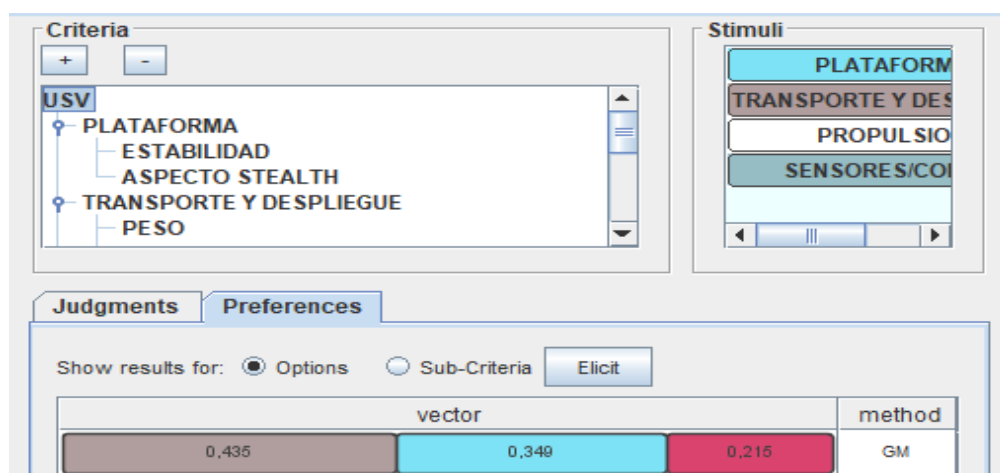


Figura 4-1“PriEst” asignación de peso final a las alternativas.

Alternativa	Peso
Protector	43,5 %
Defensor	34,9 %
Inspector	21,5 %

Tabla 4-1 Asignación de peso a los USV.

Es el USV “Protector” de la empresa israelí “RAFAEL” el vehículo que obtiene una mejor puntuación dadas sus características.

4.2 Análisis de sensibilidad.

En el siguiente punto se analizará como variaría la asignación de pesos a los USV evaluados si los porcentajes de importancia de cada criterio principal fueran modificados.

4.2.1 Plataforma.

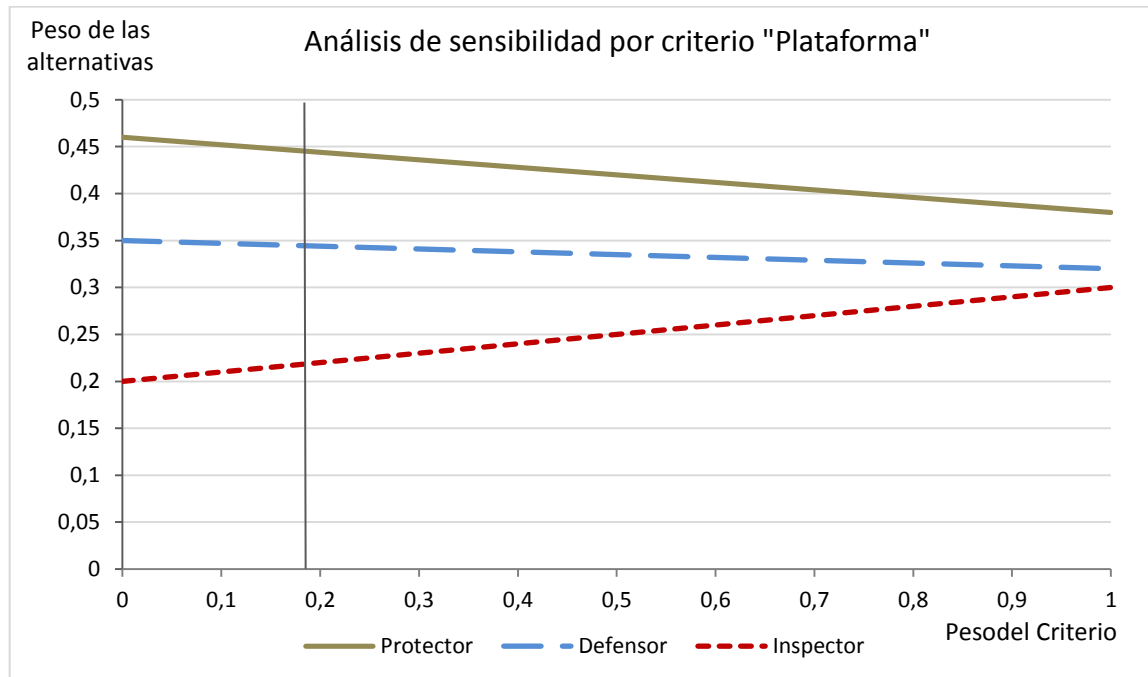


Gráfico 4-1 Análisis de sensibilidad por criterio "Plataforma".

Según el Gráfico 4-1 se puede ver que aunque el peso asignado a los criterios de plataforma varíe hasta ser incluso del 100%, el "Protector" siempre va a ser mejor evaluado que los otros dos candidatos. Es una evaluación firme y robusta dado que la "distancia" entre los candidatos es clara y sólo se aproxima el "Inspector" en el caso de que el criterio "Plataforma" tuviese una ponderación del 100%.

4.2.2 Transporte y despliegue.

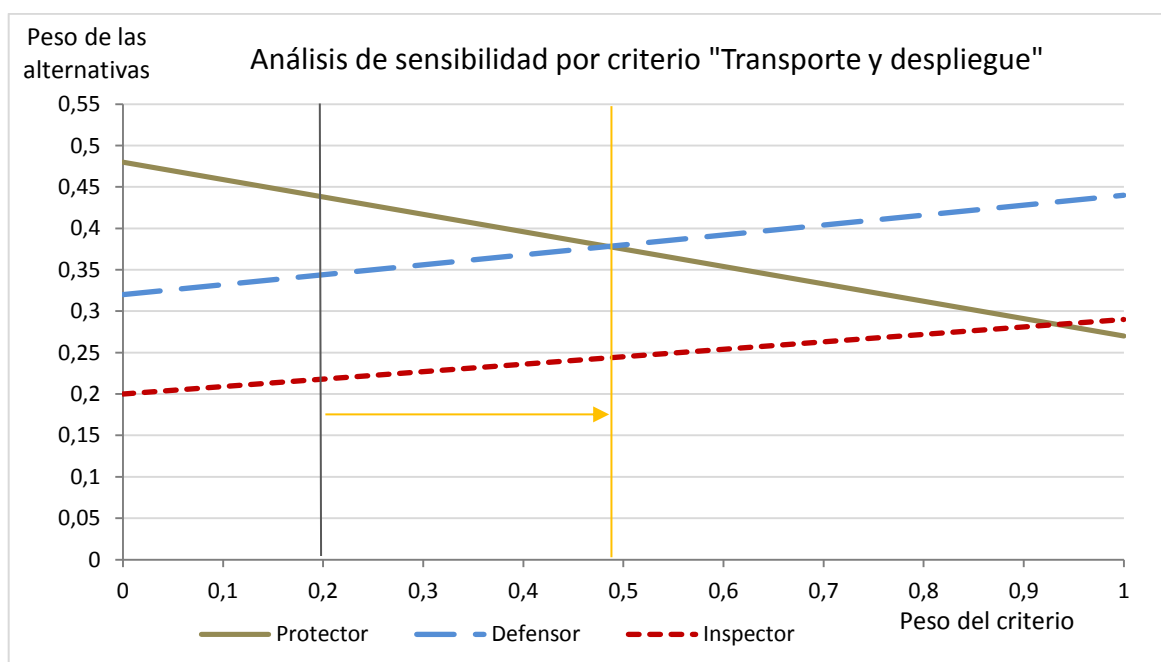


Gráfico 4-2 Análisis de sensibilidad por criterio "Transporte y despliegue".

Atendiendo a criterio principal “Transporte y despliegue”, se puede ver en el Gráfico 4-2 que para que la evaluación del “Protector” como mejor alternativa cambiase, el porcentaje asignado a este criterio principal debería aumentar casi un 30%. Podemos decir entonces, que la evaluación es suficientemente robusta.

4.2.3 Propulsión.

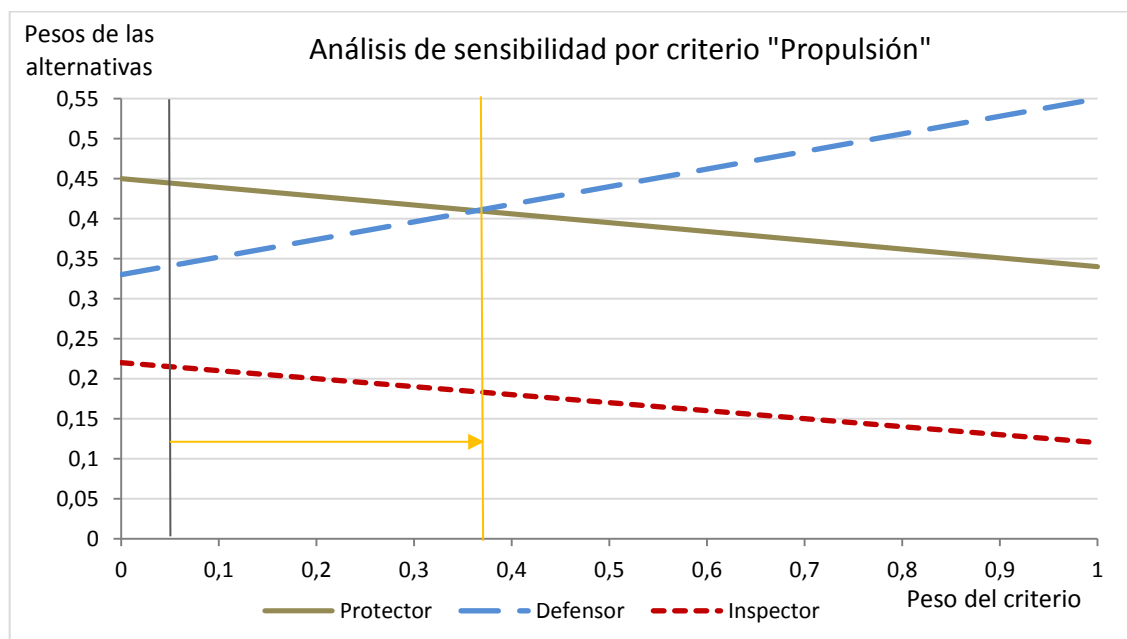


Gráfico 4-3 Análisis de sensibilidad por criterio "Propulsión".

En cuanto a la “Propulsión”, en el Gráfico 4-3 el “Protector” vuelve a ser el candidato mejor valorado para un peso del 6% que tiene asignado este criterio principal. Para que la evaluación cambiase, el peso asignado al criterio principal “Plataforma” tendría que aumentar del 6% el 35%. Se puede afirmar por tanto, que la evaluación del criterio presenta robustez.

4.2.4 Sensores y comunicaciones.

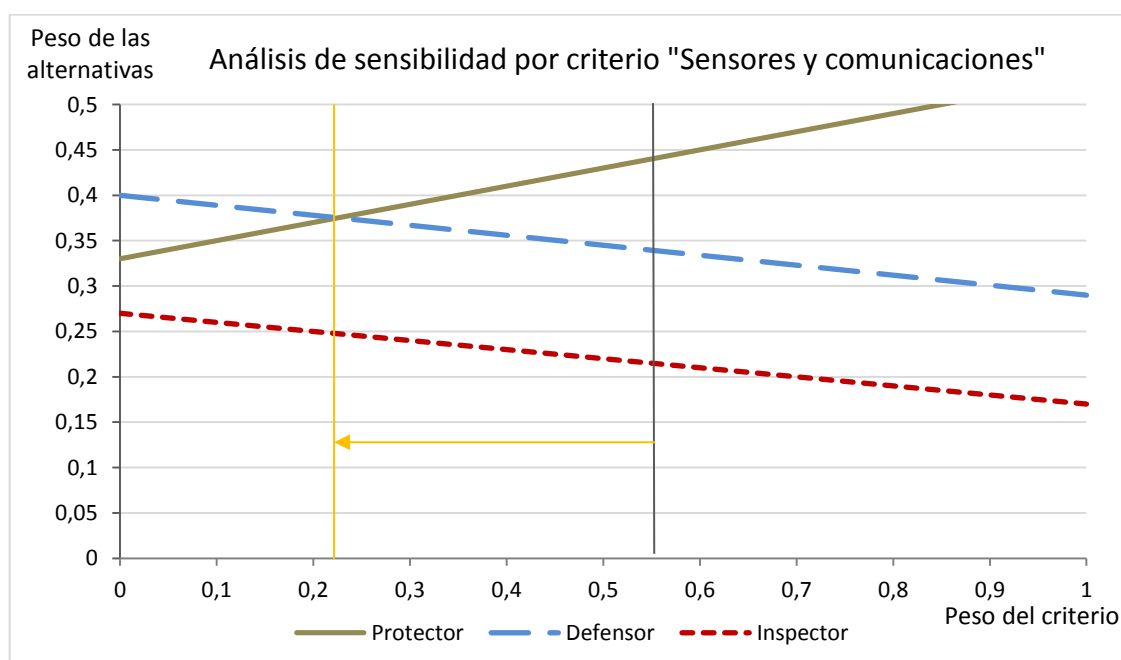


Gráfico 4-4 Análisis de sensibilidad por criterio "Sensores y comunicaciones".

En el ámbito de “Sensores y comunicaciones” se repiten las situaciones anteriores, el “Protector” vuelve a ser la alternativa mejor valorada. Para que el análisis de sensibilidad del Gráfico 4-4 presentase una evaluación poco robusta, el peso de este criterio principal debería disminuir cerca de un 25%. Es por tanto una evaluación lo suficientemente clara y firme para tener en cuenta, factor muy importante al ser el criterio principal que mayor peso tiene.

4.3 El USV “Protector” como referencia para estudios futuros.

Una vez analizadas y conocidas las capacidades del “Protector”, hay que evaluar si realmente es una opción viable. La realidad es que como se ha dicho desde el comienzo de este TFG, los USV son una tecnología muy novedosa y eso conlleva diferentes retos. A pesar de ser el USV mejor valorado, el “Protector” puede presentar limitaciones que no lo hagan totalmente viable.

El más importante de los retos a los que hay que dar solución es el descrito en el punto 3.1.3.2 del presente trabajo. En este punto se exponen las dificultades que entraña la explotación de sistemas de obtención de información ISR desde este tipo de vehículos.

A continuación, se comentan aspectos importantes (derivados de los sub-criterios) del “Protector” que deberían ser mejorados para poder ser un buen ejemplo de USV útil en la Armada Española.

4.3.1 Peso/desplazamiento.

El peso que actualmente presenta el USV “Protector” en su versión más pequeña es de 4000 kg aproximadamente.

Como se ha dicho ya, la unidad en la que se usarían principalmente este tipo de vehículos sería en buques de la serie “Meteoro”. Los pescantes con los que cuentan estas unidades tienen una capacidad máxima de elevación de 3500 kg. Es por ello que para poder utilizar el USV desde este tipo de unidades tiene que ser de menos de 3500 kg. Otra opción podría ser transportarlo en la zona para cargas modulares que hay en la toldilla del buque; sin embargo, la grúa de trabajo que hay en popa tiene una capacidad de carga máxima de 2000 kg que resultaría aún más restrictiva.

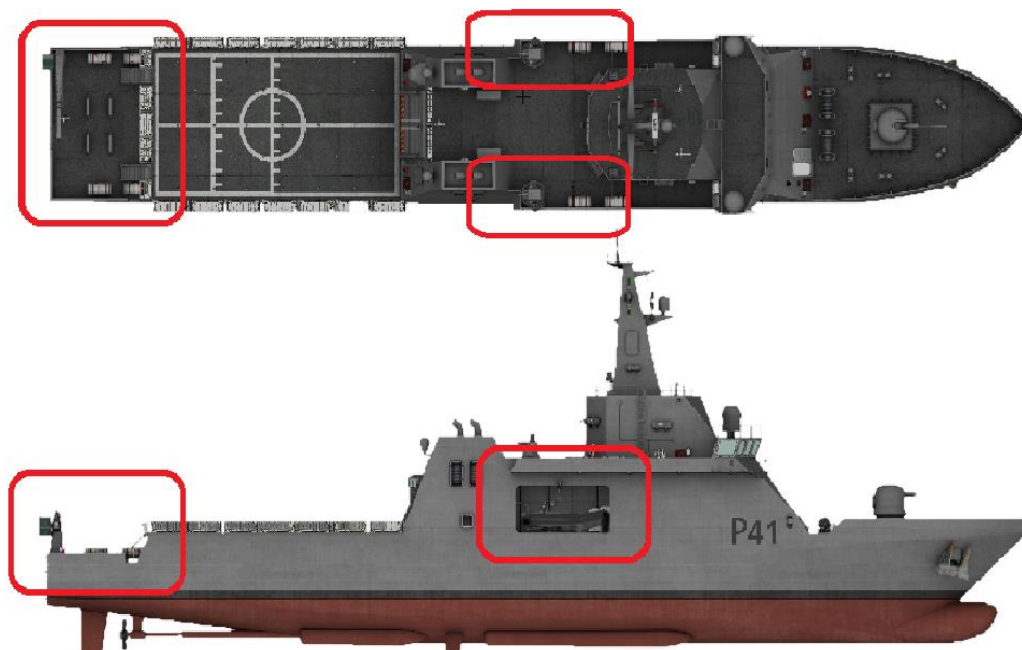


Figura 4-2 Posibles zonas de estiba del USV en buques clase "Meteoro" [26].

4.3.2 Dimensiones.

Las dimensiones de las estibas para RHIB de babor y estribor de los buques de la clase “Meteoro” está diseñada para albergar una embarcación con las características que a continuación se describen.

Dimensiones	Medidas de las embarcaciones que pueden ser estibadas. [27]	Medidas del Protector
Eslora	Entre 7,2 y 7,6 m	9 o 11 m
Manga	Entre 2,7 y 2,8 m	3,5 m
Puntal	2 m	*

Tabla 4-2 Comparación medidas de las estibas y el USV “Protector”.

Se trata de unas medidas muy restrictivas, que en el caso de ser superadas, impedirían la entrada de la embarcación a cualquiera de las dos estaciones.

Como se puede ver en la Tabla 4-2 las medidas que presenta el “Protector” son considerablemente superiores y deben ser reducidas para poder albergarlo en el interior del patrullero. Si no se consiguiese reducir lo suficiente estas medidas, como se ha indicado ya en el punto 4.3.1, el vehículo podría ir estibado con una cuna específica en la zona de la toldilla destinada a cargas modulares.

4.3.3 Maniobra de largado y recogida.

Este punto está muy relacionado con el peso que pueden soportar los pescantes, pero además, el USV debe contar con un sistema de largado y recogida compatible con el del pescante o grúa.

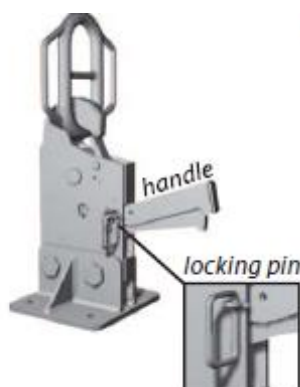


Figura 4-3 Gancho Henriksen Bruks [28].

En el caso de los buques de la clase “Meteoro” y también en la mayoría de unidades de la Armada, el sistema de unión de la embarcación al cable se hace con un gancho manual “Henriksen Bruks” como el de la Figura 4-3. Esto quiere decir que para el largado o el trincado del USV al cable del pescante o grúa habría que estudiar nuevos sistemas o contemplar el embarque de un miembro de la dotación para realizar estas dos maniobras.

4.3.4 Comunicaciones.

Es el punto que mayor esfuerzo, estudio y desarrollo puede requerir.

Aunque el USV “Protector” presente un sistema de transmisión de datos y de control tipo data-link con su CS, hay que estudiar la integración de la información en sistemas de explotación nacionales embarcados y terrestres de forma que se cumplan los estándares OTAN y nacionales. Este punto ha sido expuesto de forma conceptual en el punto 3.1.3.2 del presente trabajo.

Además, habría que profundizar en el sistema de control del “Protector” para conocer su funcionamiento; pues se trata de un contenido que no se puede encontrar en fuentes abiertas debido a la confidencialidad de la empresa que lo ha desarrollado.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Cumplimiento de objetivos.

Teniendo en cuenta todo lo que se ha explicado a lo largo de este trabajo, se puede afirmar que los objetivos que se marcaron inicialmente han sido cubiertos.

Se ha expuesto la “situación tecnológica” de los USV en la actualidad, cuáles son sus capacidades, ventajas, desventajas y limitaciones, así como las principales iniciativas que se están desarrollando a nivel internacional y nacional. Con ello se ha establecido una “vista tecnológica” de los USV.

Se ha llevado a cabo y expuesto un análisis de como esta “solución tecnológica”, que representan los vehículos USV, podría dar respuesta a necesidades operativas, actuales y futuras, de la Armada Española, para mejorar las capacidades de la Fuerza Naval. Con ello se ha establecido una “vista operativa” de los USV.

Una vez establecido el marco completo; formado por la “vista tecnológica” y la “vista operativa”, se ha establecido una jerarquía de sub-criterios para evaluar los USV presentes en el mercado en cometidos de vigilancia e ISR para la Armada Española. Todo ello mediante la aplicación del sistema de selección multicriterio AHP (*Analytic Hierarchy Process*) y la consulta a expertos desde el punto de vista “tecnológico” y también del “operativo”.

Por último, el USV resultado de la evaluación AHP, se ha utilizado como “alternativa de referencia USV” para futuros estudios e investigaciones sobre la aplicación y el desarrollo de USV en nuestra Fuerza Naval.

Con todo ello, se ha pretendido proporcionar una visión global sobre los USV y su posible aplicación a las operaciones navales, que sirva de precursor para futuros estudios y desarrollos tecnológicos encaminados a la integración de estos sistemas en la Armada Española.

5.2 Conclusiones y líneas futuras de trabajo.

El desarrollo de vehículos USV dispone del potencial suficiente, en relación con los cometidos militares en los que podrían ser empleados, para que se considere la viabilidad de su desarrollo con vistas a aumentar las capacidades de la Fuerza Naval del futuro, especialmente en el ámbito de las actividades C4ISR relacionadas con la Seguridad Marítima.

La demanda nacional de vehículos no tripulados, para las Fuerzas Armadas, ha estado muy focalizada en los UAV. No obstante, algunas empresas españolas iniciaron desarrollos tecnológicos que resultan coherentes con los emprendidos por industrias extranjeras de referencia en el sector de los USV. Por tanto, sería necesario impulsar dichas iniciativas, para reducir la brecha tecnológica con las industrias extranjeras y que la industria nacional esté preparada para satisfacer las demandas futuras de vehículos USV para la Armada Española y otras agencias de las administraciones públicas que desarrollan actividades en el ámbito de la Seguridad Marítima.

Así mismo, los vehículos USV con cometidos C4ISR, al operar en contacto con los tres espacios (subacuático, aéreo y de superficie) son un elemento clave para configurar “redes de sistemas de sensores” en el entorno marítimo. Este valor añadido, llevará consigo también su integración en el “ciberespacio”. Esta circunstancia los convierte en un vector muy apropiado para desarrollar proyectos de investigación y desarrollo encaminados al fortalecimiento de la base tecnológica e industrial de defensa española, ya que en ellos confluyen gran diversidad de áreas de desarrollo tecnológico.

Del Estado del arte realizado, así como de análisis operativo de empleo de vehículos USV, se desprende que existen áreas que constituyen retos tecnológicos clave para el desarrollo e implantación futura de estos sistemas en la Fuerza Naval. Entre ellos cabe destacar los relacionados con el control del vehículo, las comunicaciones, la interoperabilidad de la información y la integración con otros sistemas. Por tanto, será necesario analizar, definir y desarrollar estos aspectos en profundidad. Para ello, deberán aprovecharse los desarrollos tecnológicos derivados de los proyectos actuales encaminados a resolver dichos retos tecnológicos con los UAV, tales como MAJIC2, etc.

Existen limitaciones tales como el grado de autonomía admisible en los USV que, al igual que con los UAV, requerirán el estudio de otros campos del conocimiento y áreas de actividad para su resolución. Esto es porque no solo constituyen una barrera tecnológica sino jurídica o moral. No obstante, será necesario que los profesionales de dichos ámbitos dispongan de una visión global del problema.

La utilización de herramientas de apoyo a los procesos de decisión, basados en sistemas de toma de decisiones multicriterio (MCDM), como el AHP (Proceso de Análisis Jerárquico), demuestran ser útiles para su aplicación en la selección de alternativas de sistemas de armas en los que, como en el caso de los USV, confluyen gran diversidad de criterios. Estos casos obligan a disponer de medios que simplifiquen el problema, permitan la incorporación de la opinión de expertos y reduzcan la subjetividad de los procesos.

La aplicación de estos sistemas multicriterio, más allá de la mera selección de una alternativa, al establecer un enfoque sistémico, sus resultados posibilitan obtener distintos tipos de conclusiones, tanto particulares como generales. Por ejemplo, de los criterios, sub-criterios y pesos aplicados para la selección de alternativas (USV), se desprendería que, de los tres vehículos comparados, el “Defensor” quedaría evaluado como el segundo, pero estaría más cerca del primero que del tercero. Ello implica que, si bien es necesaria mayor madurez tecnológica para su viabilidad industrial y operativa, el enfoque del USV es conceptualmente muy coherente. Además, los resultados permitirían realizar análisis por criterios y sub-criterios.

Por tanto, de acuerdo con las conclusiones expuestas, se considera que las líneas futuras de trabajo en el campo de los USV para la Armada Española, deberían acometer las siguientes acciones:

- Desarrollo por parte de la Armada Española de estudios de evaluación de la necesidad de disponer de vehículos de superficie no tripulados (USV) como parte de las capacidades de la Fuerza Naval.

- Aplicación de las enseñanzas derivadas de las actividades de integración de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) en las Fuerzas Armadas a la posible implantación de vehículos de superficie no tripulados (USV).
- Impulso de los proyectos de I+D del Ministerio de Defensa relacionados con el desarrollo de vehículos de superficie no tripulados (USV).
- Desarrollo de estudios multidisciplinarios para abordar de forma global el uso futuro de sistemas no tripulados integrados, con mayor o menor grado de autonomía, en el ámbito marítimo.
- Estudios para determinar los campos de actividad en los que podría resultar de utilidad la implantación de sistemas de apoyo a la toma de decisiones, basados en herramientas multicriterio (MCDM).
- Adquisición o fabricación de un prototipo de USV para la realización de pruebas de concepto y la evaluación de distintos tipos de cargas de pago. En este sentido, el CUD de Marín se plantea como una ubicación ideal para este prototipo. El centro dispone de profesores investigadores cualificados en los ámbitos de la mecánica y las telecomunicaciones y unos laboratorios de investigación donde podrían evaluarse distintos tipos de cargas de pago. La ubicación de la Escuela Naval Militar, proporciona un enclave e instalaciones idóneas para probar este tipo de vehículos.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] "Siraj, S, Mikhailov, L and Keane, JA", *PriEsT: an interactive decision support tool to estimate priorities from pairwise comparison judgments*, 2018.
- [2] NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES, Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations.
- [3] «Global Hawk UAV,» [En línea]. Available: https://i.ytimg.com/vi/kI_VillFCMk/maxresdefault.jpg.
- [4] ABCBLOGS, «ABCblogs.es,» [En línea]. Available: <http://abcblogs.abc.es/terra-mar-aire/wp-content/uploads/sites/46/2015/11/reaper-usaf.jpg>.
- [5] «Defensenews.in,» [En línea]. Available: http://www.defencenews.in/images_articles/3_img18317222542.jpg.
- [6] Infodefensa, «Infodefensa.com,» [En línea]. Available: <http://www.infodefensa.com/es/2017/09/21/noticia-indra-realiza-primera-demostracion-prototipo.html>.
- [7] «OceanGate,» [En línea]. Available: <http://www.oceangate.com/images/capabilities/antipodes-surface.jpg>.
- [8] «Pinterest,» [En línea]. Available: <https://i.pinimg.com/736x/b0/21/c1/b021c178b37edc7e1fee95594668f265.jpg>.
- [9] «Defense Update,» [En línea]. Available: https://i1.wp.com/defense-update.com/wp-content/uploads/2011/12/seafox_c1.jpg.
- [10] «Revista Naval,» [En línea]. Available: <http://www.revistanaval.com/imaxes/g/20131011-110543-cazaminas-clase-segura-series-mcm-minesniper-pluto-plus-04.jpg>.
- [11] RAND Corporation, National Defense Research Institute, «U.S. Navy Employment Options for Unmanned Surface Vehicles (USVs),» 2013.
- [12] «leaksource.wordpress.com,» [En línea]. Available: <https://leaksource.files.wordpress.com/2013/12/dod-ums.jpg>.

- [13] Rafael Advanced Defense Systems DLT. , «Rafael Advanced Defense Systems DLT.,» [En línea]. Available: <http://www.rafael.co.il/5670-2676-EN/Marketing.aspx>. [Último acceso: 02 Febrero 2018].
- [14] ISRAEL AEROSPACE INDUSTRIES, «IAI,» [En línea]. Available: <http://www.iai.co.il/2013/22031-en/homepage.aspx>. [Último acceso: 21 Enero 2018].
- [15] «Homelandsecurity-technology,» [En línea]. Available: <http://www.homelandsecurity-technology.com/projects/katana-unmanned-surface-vessel-usv/>.
- [16] «Edredon USV,» [En línea]. Available: <http://www.usv-edredon.pl/>. [Último acceso: 20 Enero 2018].
- [17] ECA GROUP, «ECA GROUP INSPECTOR USV MK2,» 20 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.ecagroup.com/en/solutions/unmanned-surface-vehicle-inspector-mk2>. [Último acceso: 20 Enero 2018].
- [18] TEXTROM SYSTEMS, [En línea]. Available: <https://www.textronsystems.com/what-we-do/unmanned-systems/CUSV>.
- [19] BREOGAN INGENIERIA S.L., «DEFENSOR I, DEFENSOR II Y DEFENSOR S,» 2014.
- [20] Unmanned Teknologies Applications, «UTEK.es,» [En línea]. Available: <http://utek.es/es/projects/>.
- [21] ARMADA ESPAÑOLA, «CONCEPTO DE OPERACIONES NAVALES "COPNAV",» 2015.
- [22] C. Echeverría Jesús, «El empleo del mar en las estrategias de las organizaciones terroristas,» 2017.
- [23] MINISDEF, «Portal de Tecnologia e Innovacion del Ministerio de Defensa,» 2 Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/detalleiniciativa.aspx?iniciativaID=259>.
- [24] Á. P. Rodríguez, *ESTUDIO SOBRE EL CONTROL DE MISIÓN DE FLOTAS DE UAVs HETEROGÉNEAS*, UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS, 2010/2011.
- [25] W. Ossadnik, S. Schinke y R. H. Kaspar, «Group Aggregation Techniques forAnalytic Hierarchy Process and Analytic Network Process: A Comparative Analysis.,» 2015.
- [26] Micky, «FFAA-MOD,» [En línea]. Available: <https://www.ffaamod.es/author/micky/>.
- [27] INDUSTRIAS FERRI SA., *MANUAL TECNICO - PESCANTE DE BOTES PARA B.A.M.*, 2011.
- [28] H. HENRISKEN, *MANUAL GANCHO HENRISKSEN BRUKS*.
- [29] DEPARTMENT OF THE NAVY, EEUU, *THE NAVY UNMANNED SURFACE VEHICLE (USV) MASTER PLAN*, 2007.
- [30] K. BLOMBERG y J. GROSS, «Conceptual Study of a USV for the Swedish Navy,» 2014.
- [31] C. E. G. Garcia, «EMPLEO DE UAV EN LA ARMADA ESPAÑOLA. ¿CONCEPTO O CAPACIDAD MILITAR?,» *Revista General de Marina*, 2011.

- [32] Naval Technology, «Naval Technology,» [En línea]. Available: <https://www.naval-technology.com/projects/protector-unmanned-surface-vehicle/>. [Último acceso: 2018 Febrero 4].
- [33] «ZyCraft.R.,» [En línea]. Available: <http://www.zycraft.com/products/iusv-vigilant/maritime-logistics/>.
- [34] C. Martinez y E. De Diego, «Desarrollo de USV's de alta fiabilidad (V Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad, 2017),» 2017.
- [35] L. Nesse, «MAJIIC Flyer Rev,» 2006.
- [36] N. AGENCY, *MAJIIC2 in support os NATO's Future Mission Network*, 2016.
- [37] L. Martin, *STANAG 4586 Lockheed Martin*, 2018.
- [38] CSO, *STANAG 4586–Standard Interfaces of UCS for NATO UAV Interoperability*, 2015.

ANEXO I: EXPLICACIÓN DEL USO DE AHP

En este anexo se explica de forma breve como funciona AHP para que el lector pueda seguir el desarrollo de este trabajo.

AHP (*Analytic Hierarchy Process*) es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que se basa en la comparación por pares para simplificar un problema complejo en pequeñas partes.

De entre los distintos MCDM, el sistema de ayuda a la decisión que se ha elegido es el “Proceso de Análisis Jerárquico” (AHP) desarrollado por Thomas L. Saaty en 1980. Es un sistema de análisis de alternativas en las que todas las alternativas son comparadas entre ellas para cada uno de los sub-criterios. Las comparaciones en este método se hacen por pares, de manera que se facilita la concentración del decisor en no tener que evaluar más de dos alternativas simultáneamente. Según estas comparaciones se obtendrá la alternativa que mejor evaluada entre todos los criterios.

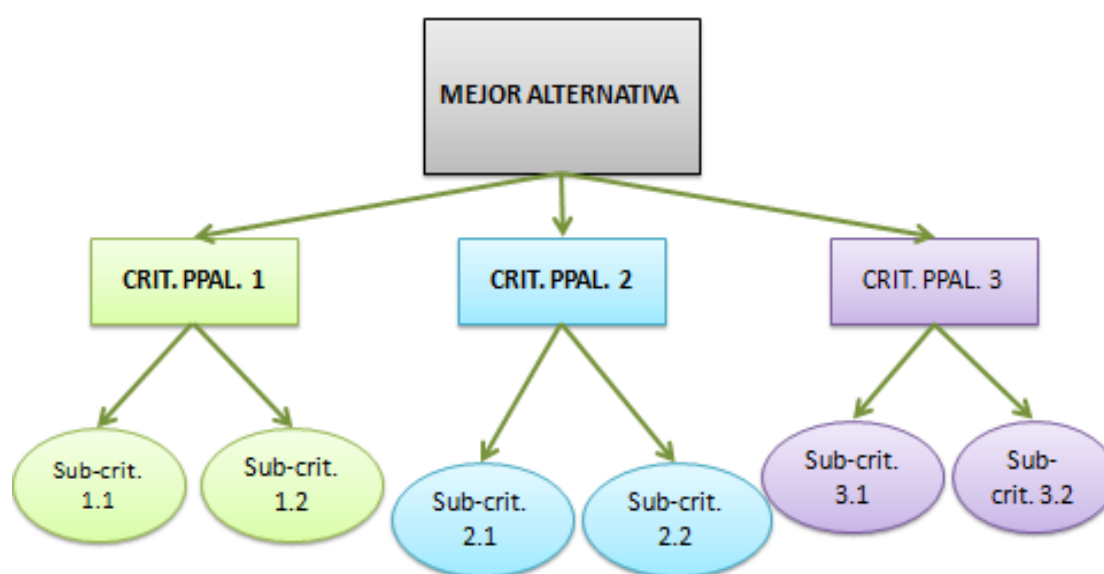


Imagen A1- 1Explicación AHP árbol de criterios y sub-criterios.

Pero no todos los sub-criterios tienen el mismo peso, es decir, hay sub-criterios más importantes que otros. Por ejemplo, a la hora de elegir un avión sería más importante una “buena navegabilidad” frente a la ergonomía de los asientos y por lo tanto el avión que mejor vuele sería elegido a pesar de que otro avión tuviese unos asientos más ergonómicos.

	PESOS		PESOS	PESO FINAL
CRIT. PPAL. 1	25%	Sub-crit. 1.1	30%	7,50%
		Sub-crit. 1.2	70%	17,50%
CRIT. PPAL. 2	50%	Sub-crit. 2.1	60%	30,00%
		Sub-crit. 2.2	40%	20,00%
CRIT. PPAL. 3	25%	Sub-crit. 3.1	85%	21,25%
		Sub-crit. 3.2	15%	3,75%

Tabla A1- 1Explicación AHP pesos de criterios.

Establecer el peso que debe tener cada criterio o sub-criterio puede resultar una tarea difícil a simple vista si estos son muchos. Sin embargo, en AHP esta tarea se simplifica y agiliza mediante la comparación por parejas entre ellos. Esta comparación se hace primero por criterios principales y

posteriormente entre los sub-criterios dentro de cada uno de los anteriores. De esta forma, multiplicando el peso del criterio principal por el del sub-criterio, se puede obtener una asignación de pesos para todos los sub-criterios que sume un cien por ciento de evaluación.

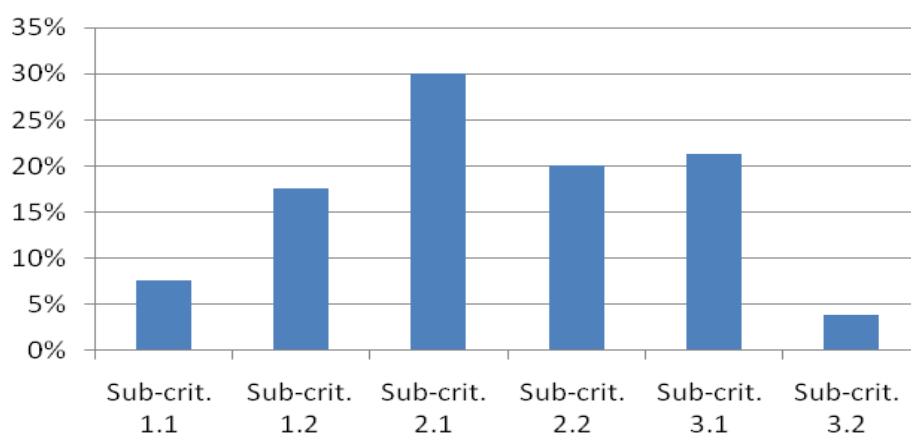


Gráfico A1- 1Explicación AHP pesos de sub-criterios.

Para llegar a esta asignación de pesos, se han tenido que comparar previamente los criterios principales y los sub-criterios entre los de su mismo grupo y nivel. Esta comparación se lleva a cabo mediante el uso de matrices en las que la columna a la izquierda contiene los criterios o sub-criterios a evaluar y la fila superior los criterios o sub-criterios frente a los que serán evaluados los de la columna izquierda.

	CRIT. PPAL. 1	CRIT. PPAL. 2	CRIT. PPAL. 3
CRIT. PPAL. 1	1	X	Y
CRIT. PPAL. 2	1/X	1	Z
CRIT. PPAL. 3	1/Y	1/Z	1

Tabla A1- 2Explicación AHP matriz de comparación de criterios.

En la imagen superior se puede ver un ejemplo de matriz de comparación donde los valores introducidos son “X”, “Y” y “Z” y la diagonal de la matriz está definida por números “1” ya que en esas casillas se evalúa un criterio o sub-criterio frente a él mismo. En los términos de la diagonal inferior, los valores serán los inversos a los introducidos en la diagonal superior ya que se trata de evaluaciones inversas.

Los valores que han de tomar “X”, “Y” y “Z” suelen obedecer a la Escala de Saaty, que facilita a la persona asignar una puntuación en cada comparación.

ESCALA	Valoración POSITIVA	Valoración NEGATIVA (INVERSA)
Igualmente preferido	1	1
Moderadamente preferido	3	1/3
Fuertemente preferido	5	1/5
Muy fuertemente preferido	7	1/7
Extremadamente preferido	9	1/9

Tabla A1- 3Escala de Saaty.

Este proceso de comparación se realiza de la misma forma para los sub-criterios, y una vez asignados los pesos, también se realiza para evaluar las alternativas según cada sub-criterio.

Sub-criterio 1.1	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
ALTERNATIVA 1	1	A	B
ALTERNATIVA 2	1/A	1	C
ALTERNATIVA 3	1/B	1/C	1

Tabla A1- 4Explicación AHP matriz de comparación de alternativas.

Con este último paso se consigue obtener un peso para cada alternativa según cada sub-criterio. Multiplicando el peso de cada alternativa por el peso del criterio por el que ha sido obtenido en el paso anterior y sumando los pesos obtenidos por cada alternativa para cada sub-criterio, se puede obtener cual es la alternativa con mayor peso y por tanto la alternativa mejor.

En este trabajo, para asignar los pesos de forma que no solo cuente la opinión del alumno, se va realizar una petición de encuestas a personal que trabaja en la Industria de Defensa y en la Dirección General de Armamento y Material (DGAM). Con esto se busca que la asignación de pesos para cada criterio sea fundamentada y profesional.

	PESOS	PESO FINAL	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Sub-crit. 1.1	30%	7,50%	20%	30%	50%
Sub-crit. 1.2	70%	17,50%	30%	5%	65%
Sub-crit. 2.1	60%	30,00%	60%	20%	20%
Sub-crit. 2.2	40%	20,00%	50%	25%	25%
Sub-crit. 3.1	85%	21,25%	80%	10%	10%
Sub-crit. 3.2	15%	3,75%	15%	35%	50%

PESOS POR SUB-CRIT	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Sub-crit. 1.1	1,50%	2,25%	3,75%
Sub-crit. 1.2	5,25%	0,88%	11,38%
Sub-crit. 2.1	18,00%	6,00%	6,00%
Sub-crit. 2.2	10,00%	5,00%	5,00%
Sub-crit. 3.1	17,00%	2,13%	2,13%
Sub-crit. 3.2	0,56%	1,31%	1,88%
PESO FINAL	52,31%	17,56%	30,13%

Tabla A1- 5Explicación AHP asignación de pesos a las alternativas y selección de la mejor.

En este caso la “Alternativa 1” será la mejor opción según los sub-criterios de la tabla.

ANEXO II: EXPLICACIÓN DE ENCUESTAS A EXPERTOS.

ENCUESTA SOBRE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN USV PARA LA ARMADA ESPAÑOLA

Esta encuesta se encuentra enmarcada dentro del Trabajo Fin de Grado (TFG) del AF. José Cuartero Rodríguez. Le agradezco de antemano el tiempo que dedique a confeccionarla y me comprometo a hacerle participe de los resultados globales de los encuestados, así como del trabajo final.

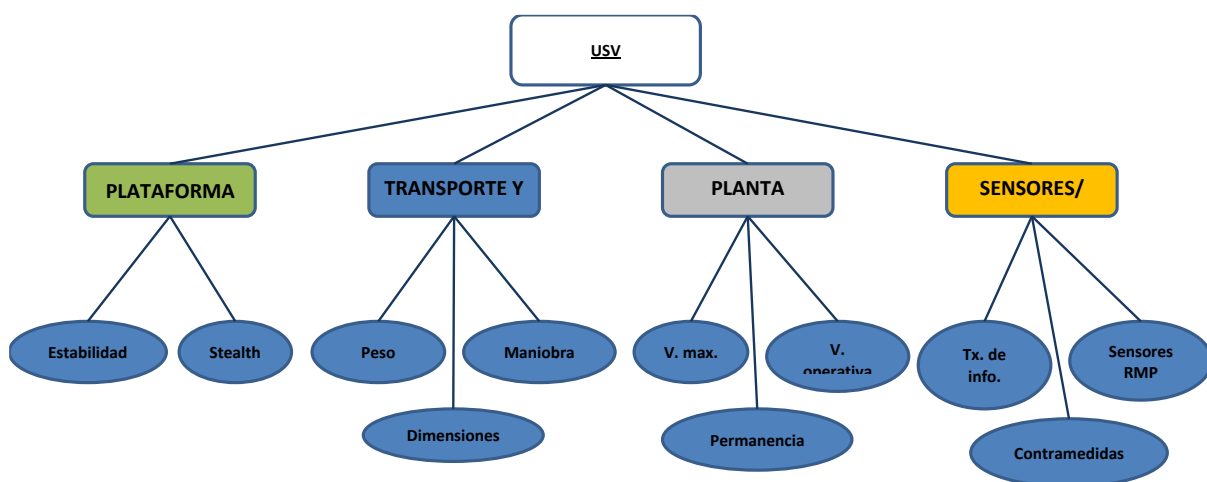
Como muy bien sabe, los buques de Acción Marítima se dedican a la vigilancia del entorno marítimo para conseguir el nivel de Seguridad Marítima que España necesite allí donde sus intereses lo demanden. Pero, estas unidades de la Armada se encuentran limitadas en su capacidad de obtención de información.

Para tratar de mitigar esta limitación, en mi trabajo propongo el uso de un USV (vehículo de superficie no tripulado) que se desplegaría desde unidades de Acción Marítima de la Armada que de forma autónoma o remota pueden llevar a cabo misiones de vigilancia, reconocimiento e inteligencia en ambientes de baja intensidad.

A la hora de seleccionar el USV óptimo para la Armada surgen multitud de criterios de elección, algunos de ellos contrapuestos. Con esta encuesta, se busca conocer el peso adecuado que debe tener cada uno de estos criterios y sub-criterios de evaluación. A partir de estos pesos se tratará de seleccionar el mejor USV entre los existentes en la actualidad. Su ayuda consiste en aprovechar su *expertise* para dar el peso correcto a cada criterio.

A partir de sus respuestas, emplearé la metodología AHP para elegir el USV. El AHP es una técnica de selección multicriterio que basa su funcionamiento en la comparación de dichos criterios por pares, dado como resultado el peso o grado de importancia que el decisor otorgue a cada criterio o sub-criterio.

Se han identificado 4 criterios principales y 11 sub-criterios que servirán para evaluar las diferentes alternativas de USV existentes en el mercado a día de hoy.



PLATAFORMA: se refiere al casco y estructura del USV que van a definir sus condiciones de navegación.

- **Estabilidad:** define el nivel de “Estado de la mar” máximo en la escala Beaufort que puede soportar el vehículo.
- **Aspecto “Stealth”:** que el barco sea lo más discreto posible. Aunque muchas veces el término “stealth” se use para referirse a algo que tenga una baja SER, la realidad es que se puede ampliar el término a muchos más aspectos en los que un sistema debe ser discreto para no alertar de su presencia.

TRANSPORTE Y DESPLIEGUE: evalúa la facilidad de estiba, despliegue y recogida.

- **Peso:** puede limitar el uso del vehículo desde unidades navales por los medios con los que estas cuentan (grúas, pescantes, etc.)
- **Dimensiones:** los espacios que las unidades de la Armada tienen para estibar embarcaciones por lo general están pensadas para albergar RHIB de eslora de 7.5 metros, manga de 2.8 metros y una altura sobre la quilla de 1.2 metros.
- **Maniobra:** el grado de sencillez y compatibilidad de la maniobra de largado y recogida de la embarcación que esta puede presentar.

PLANTA PROPULSORA: va a determinar las capacidades del vehículo en términos de distancia recorrida mientras opera y demás prestaciones.

- **Permanencia:** para aumentar su efectividad frente a otras unidades no tripuladas, el USV debe que ser capaz de estar el máximo tiempo posible desplegado. Se ha decidido no denominar este punto como “autonomía” porque podría dar lugar a confusiones con el “nivel de funcionamiento autónomo” del vehículo.
- **Velocidad operativa:** la velocidad que pueda mantener el USV que le permita barrer la mayor área posible mientras recoge la mayor cantidad de información que le permitan sus sensores.
- **Velocidad máxima:** velocidad que debe necesitar el vehículo para interceptar o seguir a un contacto, o para salir de una zona peligrosa.

SENSORES Y COMUNICACIONES: la capacidad de obtener información y que ésta sea útil.

- **Transmisión y recepción de información y ordenes:** capacidades que pueden presentarlos USV para transmitir o recibir la información que recogen sus sensores, así como la capacidad de C2 (*Command and Control*) que presenta el vehículo para poder ser controlado.
- **Contramedidas:** sistemas que le permiten al vehículo evadirse de un peligro o amenaza.
- **Sensores RMP (“Recognized Maritime Picture”):** a mayor número y calidad de los sensores que incorpore el USV, mayor cantidad de información podrá recolectar. En este punto se evalúa muy positivamente la modularidad de las cargas de pago/ sensores que pueda integrar el USV de forma que se puedan adaptar a los diferentes escenarios y misiones.

Para facilitar la realización de la encuesta se ha desarrollado una Excel. En ella se le solicita rellenar las tablas comparando cada criterio presente en la columna de la izquierda con los criterios de la fila superior cubriendo solamente las celdas amarillas. La comparación debe realizarla mediante una escala de números impares (escala de Saaty) y los valores a introducir se encuentran en la pestaña que tiene cada celda:

ESCALA	Valoración POSITIVA	Valoración NEGATIVA (INVERSA)
Igualmente preferido	1	1 = 1
Moderadamente preferido	3	1/3 = 0,33
Fuertemente preferido	5	1/5 = 0,2
Muy fuertemente preferido	7	1/7 = 0,14
Extremadamente preferido	9	1/9 = 0,11

Aquí tiene un ejemplo ficticio:

CRITERIA	CONDICIONES MARINERAS	TRANSPORTE Y DESPLIEGUE	PLANTA PROPULSORA PROPULSIÓN	SENSORES / COMUNICACIONES
CONDICIONES MARINERAS	1,00	0,11	0,14	0,20
TRANSPORTE Y DESPLIEGUE	9,00	1,00	3,00	5,00
PLANTA PROPULSORA PROPULSIÓN	7,00	0,33	1,00	3,00
SENSORES / COMUNICACIONES	5,00	0,20	0,33	1,00

En este caso las “CONDICIONES MARINERAS” tienen una valoración de **0,11 (=1/9)** frente a TRANSPORTABILIDAD Y DESPLIEGUE” porque “TRANSPORTABILIDAD Y DESPLIEGUE” es “Extremadamente preferible”. Sin embargo, “TRANSPORTE Y DESPLIEGUE” tiene una valoración de 5 frente a “SENSORES/COMUNICACIONES” porque “TRANSPORTE Y DESPLIEGUE” es “Fuertemente preferido”.

Tomando como guía el ejemplo anterior, se rellenarían las cinco matrices de la Excel, cubriendo **solamente las celdas amarillas**. A la derecha de cada matriz hay una celda que se activa y se pone de color rojo si alguna de las evaluaciones introducidas hace que se alguna contradicción y, por tanto, los juicios realizados en la matriz no sean consistentes.

Por último, si considera que debe haber algún criterio o sub-criterio en esta lista que no ha sido tenido en cuenta, le agradecería que me lo comunicase.

Muchas gracias por su tiempo y colaboración.

Quedo a sus órdenes/Reciba un cordial saludo.
AF José Cuartero Rodríguez

ANEXO III: HOJA DE EXCEL PARA PETICIÓN DE OPINIONES Y CÁLCULO DE PESOS DE LOS SUB-CRITERIOS.



IMPORTANTE TENER PRESENTE		
ESCALA	Valoración POSITIVA	Valoración NEGATIVA
Igualmente preferido	1	1 equivale a 1
Moderadamente preferido	3	1/3 equivale a 0,33
Fuertemente preferido	5	1/5 equivale a 0,20
Muy fuertemente preferido	7	1/7 equivale a 0,14
Extremadamente preferido	9	1/9 equivale a 0,11
COMPLETE SOLAMENTE LAS CELDAS EN AMARILLO		

Matrix 1:

	CRITERIOS BASICOS	PLATAFORMA	TRANSPORTE Y DESPLIEGUE	PROPULSIÓN	SENSORES /COMUNICACIONES	
1,00						
3,00	PLATAFORMA	1,00				
5,00	TRANSPORTE Y DESPLIEGUE	#!DIV/0!	1,00			
7,00	PROPULSIÓN	#!DIV/0!	#!DIV/0!	1,00		
9,00	SENSORES /COMUNICACIONES	#!DIV/0!	#!DIV/0!	#!DIV/0!	1,00	

0,33

0,20

0,14

0,11

Matrix 2:

PLATAFORMA	ESTABILIDAD	STEALTH	
ESTABILIDAD	1		
STEALTH	#!DIV/0!	1	

Matrix 3:

TRANSPORTE Y DESPLIEGUE	PESO	DIMENSIONES	MANIOBRA/ LOGÍSTICA	
PESO	1,00			
DIMENSIONES	#!DIV/0!	1,00		
MANIOBRA/ LOGÍSTICA	#!DIV/0!	#!DIV/0!	1,00	

Matrix 4:

PROPULSIÓN	PERMANENCIA	VELOCIDAD OPERATIVA	VEL MAXIMA	
PERMANENCIA	1,00			
VELOCIDAD OPERATIVA	#!DIV/0!	1,00		
VEL MAXIMA	#!DIV/0!	#!DIV/0!	1,00	

Matrix 5:

SENSORES /COMUNICACIONES	CAPACIDAD DE TRANSMITIR INFORMACIÓN	SENSORES PARA RMP	CONTRAMEDIDAS	
CAPACIDAD DE TRANSMITIR INFORMACIÓN	1,00			
SENSORES PARA RMP	#!DIV/0!	1,00		
CONTRAMEDIDAS	#!DIV/0!	#!DIV/0!	1,00	