



Trabajo Fin de Grado

Sistema de duelo en unidades de infantería: Análisis de alternativas y selección

Autor

Marcos Javier Chomón López

Director/es

Director académico: D. Iván Cristóbal Monreal
Director militar: Capitán D. Juan Ramón Rodríguez Juste

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2022

Agradecimientos

Quisiera con estas palabras agradecer de corazón a todas las personas que me han acompañado durante este camino y que me han permitido llegar hasta la finalización de este trabajo.

Lo primero de todo, expresar mi gratitud al Director Académico de este trabajo Don Iván Cristóbal Monreal por el interés y dedicación mostrados durante la realización de este trabajo.

También quiero destacar mi agradecimiento al personal del II Tercio “Duque de Alba” de la Legión IV Bandera “Cristo de Lepanto” que me ha ayudado y facilitado el trabajo a la hora de recabar información en el proceso de recogida de datos para esta memoria. En especial a la 1^a Compañía, la cual ha colaborado en gran parte de su realización.

No puedo finalizar sin dar las gracias a mi familia y a mis amigos, sin los cuales hubiese sido imposible llegar hasta donde me encuentro ahora mismo. Han sido mi gran apoyo durante estos cinco años, en los cuales, siempre han estado ahí para todo lo que he necesitado. Gracias por no permitirme bajar la cabeza en los momentos difíciles.

Muchas gracias por todo.

RESUMEN

La misión fundamental de una unidad de infantería es la continua preparación e instrucción para el combate. Esta preparación e instrucción se está viendo mermada por la gran cantidad de limitaciones que se imponen a las unidades. Limitaciones de presupuestos, de munición, de apoyo sanitario, de instalaciones o del medioambiente. Para ello, en los últimos años, ha crecido exponencialmente el uso de simuladores que pueden contrarrestar estas limitaciones y que permiten seguir mejorando la instrucción diaria de las unidades de infantería.

Este trabajo se ha centrado en el simulador de duelo individual de la empresa Tecnabit que se encuentra actualmente en dotación en nuestras Fuerzas Armadas. Dicho sistema lleva funcionando en el Ejército desde 2010. Durante estos últimos años la tecnología ha experimentado grandes avances, lo que ha permitido una mejora de estos sistemas de simulación. Estos nuevos sistemas, más actualizados, permiten una mejora y un mayor realismo en la instrucción. Por todo ello, el objetivo de esta memoria es encontrar una alternativa al sistema de duelo individual, que se encuentra en dotación, que ofrezca un salto de calidad en la instrucción.

Para ello, primero se buscaron las carencias y los aspectos positivos del sistema gracias a un grupo de expertos que evaluaron cuales son las características y capacidades que el nuevo sistema debe incluir. Esto se realizó a través de entrevistas y encuestas. Posteriormente, se comenzó una búsqueda de sistemas de duelo individual que cumpliesen con las aplicaciones deseadas. Esta búsqueda se efectuó tanto en el ámbito civil como en el militar. La búsqueda permitió encontrar ocho posibles candidatos.

Una vez seleccionados los tres simuladores (FN® Expert, Gladiator y MILES IWS2) que mejor se adaptaban al objetivo del trabajo se llevó a cabo la aplicación del método AHP (Proceso Analítico Jerárquico), el cual permite encontrar la mejor alternativa al problema de una manera cuantitativa.

Para la realización de este método se tuvo que realizar una serie de comparaciones entre las características que el nuevo sistema debía tener, y posteriormente comparar las alternativas respecto a cada característica y comprobar así con distintos cálculos que alternativa se adaptaba mejor al problema. Estas comparaciones se realizaron gracias a las encuestas que se llevaron a cabo y a un método matemático desarrollado durante la memoria.

Para la realización de los cálculos referentes a ciertos pasos del método AHP se ha utilizado un software llamado Expert Choice®

Finalmente, el resultado es que el sistema de duelo individual que mejor se adapta a las necesidades de las unidades es el simulador Gladiator, por lo tanto debería ser el sustituto del actual.

Con este trabajo se ha logrado encontrar una alternativa al actual sistema de duelo individual con una tecnología mucho mayor y que permite mejorar el nivel de instrucción. Además durante este proceso se han identificado aspectos positivos y carencias del sistema actual. Este proyecto pretende ser el inicio de una investigación futura de la adquisición de este sistema.

PALABRAS CLAVE

Simuladores, Sistema de duelo individual, Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

ABSTRACT

The fundamental mission of an infantry unit is the continuous preparation and instruction for combat. This preparation and instruction are being shortened for the great number of limitations that are being imposed on these units. Limitations in budgets, ammunition, healthcare support, infrastructures, and environment. Because of this, in the last years, the use of simulators that can offset the limitations and that allow the units of infantry to continue improving with it is daily instruction, have increased.

This project has been focused on the simulator of laser-based training from the company Tecnabit that is currently being used by the spanish armed forces. This system has been functioning in the Army since 2010. During the past years technology has experienced great progress, which has led to an improvement of these simulators systems. These more updated systems led to an improvement and a better realism in the instruction. For all this, the objective of this project is finding another alternative to the system that offers an improvement on the quality of instruction.

To make this possible, first of all we looked for the shortages and positive aspects of the system due to a group of experts that evaluated which are the characteristics and capacities that the new system should include. This was made through interviews and surveys. Subsequently, it started a search for a new laser-based training that satisfied the desired applications. This search was done in the civilian field as well as in the military field. The search allowed to find eight possible candidates.

Once selected the three simulators (FN® Expert, Gladiator y MILES IWS2) that adapt the best to the objective of the job it was carried out the application of the method AHP (Analytic Hierarchy Process) which let us find the best alternative to the problem in a quantitative way.

For the realization of this method it has to be done a series of comparisons between the characteristics the new system should have, and later compare the alternatives to each feature and check with different calculations which alternatives adapt better to the problem. These comparisons were done using the surveys and a mathematical method developed during the working memory.

For the realization of the calculations of certain steps of the method AHP a software called Expert Choice has been used.

Finally, the outcome is that the system that adapts the best to the necessities of the units is the Gladiator's system; therefore it should replace the current one.

With this work it has been found an alternative to the current laser-based system with better technology, which allows to improve the level of instruction. Furthermore, during the process positive aspects and shortages of the current system have been identified. This project intends to be the beginning of a future investigation of the acquisition of this system.

KEYWORDS

Simulators, laser-based training, Analytic Hierarchy Process (AHP).



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. MARCO DEL TRABAJO	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.4. ALCANCE	3
1.5. METODOLOGÍA.....	3
1.6. PLANIFICACIÓN	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ESTADO DEL ARTE.....	5
2.2. SISTEMA DE DUELO INDIVIDUAL	7
3. TEORÍA DEL MÉTODO AHP	9
3.1. GENERALIDADES.....	9
3.2. CONSISTENCIA.....	11
4. PROCESO DE BÚSQUEDA DE NECESIDADES	11
5. BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS	15
6. APLICACIÓN MÉTODO AHP.....	17
6.1 MATRICES DE COMPARACIONES	20
6.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	22
7. SENSIBILIDAD MÉTODO AHP.....	25
8. CONCLUSIONES.....	28
9. BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXO I: EXPLICACIÓN CÁLCULOS MÉTODO AHP	32



ANEXO II: ENTREVISTA EXPERTOS.....	34
ANEXO III: ENCUESTA	38
ANEXO IV: ALTERNATIVAS.....	39
ANEXO V: MATRICES DE COMPARACIÓN Y PESOS DE LOS CRITERIOS, SUBCRITERIOS Y ALTERNATIVAS.....	44



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama temporal de la realización del trabajo	5
Figura 2: Elementos del sistema de duelo individual.....	8
Figura 3: Pistola de árbitro y unidad de control del sistema de duelo individual.	8
Figura 4: Escala de valores de Saaty.....	10
Figura 5: Ejemplo matriz de comparaciones	10
Figura 6: Resultado de las encuestas por orden de importancia.....	14
Figura 7: Sensor de disparo del SDI FN® Expert.....	16
Figura 8: Sensores y sistema láser del SDI Gladiator	16
Figura 9: Sensores y sistema láser del SDI MILES IWS2	17
Figura 10: Elección de la importancia entre alternativas para un subcriterio. Expert Choice®.....	21
Figura 11: Matriz de comparación de las alternativas para el subcriterio ligereza del sistema instalado en el fusil. Expert Choice®	21
Figura 12: Matriz de comparación de las alternativas para el subcriterio del localizador GPS. Expert Choice®	21
Figura 13: Puntuaciones del peso de cada subcriterio para el criterio Simulación e Instrucción. Expert Choice®.....	22
Figura 14: Puntuaciones del peso de cada criterio dentro del problema. Expert Choice®.....	22
Figura 15: Puntuaciones del peso de cada alternativa para el subcriterio del alcance máximo del láser. Expert Choice®	22
Figura 16: Gráfica de puntuaciones de las alternativas. Expert Choice®	23
Figura 17: Peso de cada alternativa para el criterio Ligereza. Expert Choice®	23
Figura 18: Peso de cada alternativa para el criterio Realismo. Expert Choice®.....	24
Figura 19: Peso de cada alternativa para el criterio Operatividad. Expert Choice®.....	24
Figura 20: Peso de cada alternativa para el criterio Simulación e Instrucción. Expert Choice®.....	24
Figura 21: Peso de cada alternativa del problema. Expert Choice®.....	24
Figura 22: Gráfica de sensibilidad del criterio Ligereza. Expert Choice®	25
Figura 23: Gráfica de sensibilidad del criterio Realismo. Expert Choice®	26
Figura 24: Gráfica de sensibilidad del criterio Operatividad. Expert Choice®	26
Figura 25: Gráfica de sensibilidad del criterio Simulación e Instrucción. Expert Choice®	27
Figura 26: Gráfica de puntuaciones de las alternativas cambiando el peso del criterio Realismo. Expert Choice®.....	27



Figura 27: Gráfica de puntuaciones de las alternativas cambiando el peso del criterio Ligereza. Expert Choice®	28
Figura 28: Matriz ejemplo para explicar los cálculos del método AHP	32
Figura 29: Matriz ejemplo para explicar los cálculos del método AHP	32
Figura 30: Matriz ejemplo para explicar los cálculos del método AHP	32
Figura 31: Explicación de la multiplicación de matriz y vectores de prioridad del método AHP	33
Figura 32: Modelo de la encuesta realizada.....	38
Figura 34: Sistema FN Expert durante un ejercicio.....	39
Figura 33: Sistema láser de FN® Expert.....	39
Figura 35: Elementos del sistema Gladiator.....	40
Figura 36: Gráfico de daños para el sistema Gladiator.	41
Figura 37: Sistema MILES IWS2 durante un ejercicio.....	42
Figura 38: Matriz de comparación entre criterios. Expert Choice®.....	44
Figura 39: Matriz de comparación entre los subcriterios del criterio ligereza. Expert Choice®.....	44
Figura 40: Matriz de comparación entre los subcriterios del criterio Realismo. Expert Choice®.....	44
Figura 41: Matriz de comparación entre los subcriterios del criterio Operatividad. Expert Choice®.....	44
Figura 42: Matriz de comparación entre los subcriterios del criterio Simulación e Instrucción. Expert Choice®.....	44
Figura 43: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio ligereza en el sistema del fusil. Expert Choice®	44
Figura 44: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio ligereza en el sistema del cuerpo. Expert Choice®	45
Figura 45: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Distancia/Rango Máximo. Expert Choice®	45
Figura 46: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Uso de fogeo. Expert Choice®.....	45
Figura 47: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Precisión. Expert Choice®.....	45
Figura 48: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Rapidez montaje del sistema. Expert Choice®	45
Figura 49: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Inalámbrico/Bluetooth. Expert Choice®	45
Figura 50: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Uso	



interiores/exteriores. Expert Choice®.....	45
Figura 51: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Autonomía. Expert Choice®.....	46
Figura 52: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Uso en diferentes armas. Expert Choice®	46
Figura 53: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Objetivos activos/pasivos. Expert Choice®.....	46
Figura 54: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Lector digital. Expert Choice®.....	46
Figura 55: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Datos en tiempo real. Expert Choice®.....	46
Figura 56: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Simulación IED y granadas. Expert Choice®.	46
Figura 57: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Medición agrupación disparos. Expert Choice®.....	46
Figura 58: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Localizador GPS. Expert Choice®.	47
Figura 59: Peso de los criterios para el problema. Expert Choice®.....	47
Figura 60: Peso de los subcriterios para el criterio Ligereza. Expert Choice®.	47
Figura 61: Peso de los subcriterio para el criterio Realismo. Expert Choice®.	47
Figura 62: Peso de los subcriterio para el criterio Operatividad. Expert Choice®.....	47
Figura 63: Peso de los subcriterio para el criterio Simulación e Instrucción. Expert Choice®.....	48
Figura 64: Peso de las alternativas para el subcriterio Ligereza en el sistema del fusil. Expert Choice®.....	48
Figura 65: Peso de las alternativas para el subcriterio Ligereza en el sistema en el cuerpo. Expert Choice®.....	48
Figura 66: Peso de las alternativas para el subcriterio Distancia/Rango máximo. Expert Choice®.....	48
Figura 67: Peso de las alternativas para el subcriterio Ligereza Uso de fogeo. Expert Choice®.....	49
Figura 68: Peso de las alternativas para el subcriterio Precisión. Expert Choice®.....	49
Figura 69: Peso de las alternativas para el subcriterio Rapidezz en el montaje del sistema. Expert Choice®.	49
Figura 70: Peso de las alternativas para el subcriterio Inalámbrico/Bluetooth. Expert Choice®.....	49
Figura 71: Peso de las alternativas para el subcriterio Uso de interiores/exteriores.	



Expert Choice®.....	49
Figura 72: Peso de las alternativas para el subcriterio Autonomía. Expert Choice®. ..	50
Figura 73: Peso de las alternativas para el subcriterio Uso en diferentes armas. Expert Choice®.....	50
Figura 74: Peso de las alternativas para el subcriterio Objetivos activos/pasivos. Expert Choice®.....	50
Figura 75: Peso de las alternativas para el subcriterio Lector digital. Expert Choice®.50	
Figura 76: Peso de las alternativas para el subcriterio Datos en tiempo real. Expert Choice®.....	50
Figura 77: Peso de las alternativas para el subcriterio Simulación IED y Granadas. Expert Choice®.....	51
Figura 78: Peso de las alternativas para el subcriterio Agrupación de disparos. Expert Choice®.....	51
Figura 79: Peso de las alternativas para el subcriterio Localizador GPS. Expert Choice®.....	51
Figura 80: Peso de las alternativas para el criterio Ligereza. Expert Choice®.	51
Figura 81: Peso de las alternativas para el criterio Realismo. Expert Choice®.	52
Figura 82: Peso de las alternativas para el criterio Operatividad. Expert Choice®.....	52
Figura 83: Peso de las alternativas para el criterio Simulación e Instrucción. Expert Choice®.....	52
Figura 84: Peso de las alternativas para el problema. Expert Choice®.....	52



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resultados de las encuestas realizadas	14
Tabla 2: Asociación de saltos de tramo y la Escala de Saaty.....	18
Tabla 3: Criterios y subcriterios con sus valoraciones de importancia.....	19
Tabla 4: Resumen de las características de las tres alternativas	43



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AGM	Academia General Militar
AHP	Analytic Hierarchy Process
COMGECEU	Comandancia General de Ceuta
CUD	Centro Universitario de la Defensa
CUMAS	Cuadros de Mando
ET	Ejército de Tierra
FAS	Fuerzas Armadas Españolas
I+D	Investigación y Desarrollo
IED	Improvised Explosive Device
OTAN	Organización del Tratado Atlántico Norte
SDI	Sistema de Duelo Individual
TFG	Trabajo de Fin de Grado
TPP	Tácticas, Técnicas y Procedimientos



1. INTRODUCCIÓN

Esta memoria presenta los resultados obtenidos durante la realización del Trabajo de Fin de Grado (TFG) que se llevó a cabo durante la ejecución de las prácticas externas en el Tercio “Duque de Alba” 2º de la Legión, IV Bandera “Cristo de Lepanto”, en Ceuta, dentro del plan de estudios del Grado de Ingeniería de Organización Industrial que se imparte en la Academia General Militar (AGM) y el Centro Universitario de la Defensa (CUD).

1.1. MARCO DEL TRABAJO

Desde principios del siglo XXI los ejércitos más importantes del mundo han hecho un importante esfuerzo para mejorar la instrucción de sus soldados. Con este propósito se han instaurado diferentes sistemas de simulación que han intentado dar realismo a la instrucción, con el objetivo de mejorar las capacidades de las Fuerzas Armadas y de reducir costes.

Dentro de los ámbitos de actuación de los sistemas de simulación se pueden encontrar medios que funcionan como apoyo a la Instrucción y Adiestramiento, apoyo a la enseñanza, apoyo a la evaluación, como medio de obtención de lecciones aprendidas o como medio para la actualización de Tácticas, Técnicas y Procedimientos (TTP). Hay diferentes tipos de simuladores entre los cuales encontramos simuladores reales o de simulación en vivo, simuladores virtuales, *serious games*¹ y simuladores constructivos² ([Llamas, 2018](#)).

Dentro del Plan Director de Simulación (Anexo V de NG 08/2013) se puede observar que en apoyo de la Enseñanza, la Instrucción, Adiestramiento y Evaluación, la simulación permite ([Llamas, 2018](#)):

- Facilitar el conocimiento del armamento y material.
- Mejorar el planeamiento, preparación y ejecución de operaciones.
- Reducir el impacto económico.
- Racionalizar el empleo de los medios, su deterioro y desgaste.
- Racionalizar el consumo de clase V³.
- Reducir el impacto medioambiental.
- Incrementar la variedad y el estímulo en el aprendizaje.
- Complementar/preparar la ejecución de ejercicios LIVEX⁴.
- Reiterar ejercicios.

¹ También conocidos como “juegos formativos”, son videojuegos diseñados con carácter formativo y no de entretenimiento. El adjetivo “serio” es porque corresponde a industrias como defensa, sanidad o emergencias.

² Simuladores que permiten simular virtualmente diferentes situaciones y ejercicios tácticos para poder instruir a los Estados Mayores y Planas de Mando.

³ Munición.

⁴ Ejercicios en los cuales se despliegan medios y personal reales para realizar diferentes situaciones tácticas.



El Ejército Español cuenta con gran variedad de sistemas de simulación dentro de cada una de las diferentes categorías que se han enumerado anteriormente. Sin embargo, este TFG solo se va a centrar en la investigación de los Simuladores de Duelo para unidades de infantería ligera, englobados dentro de los **simuladores reales o de simulación en vivo**. Un Simulador de Duelo posibilita simular el combate entre usuarios del sistema, permitiéndoles interactuar entre ellos, y dando la posibilidad de conocer a ciencia cierta si los disparos han sido certeros o no, dando un mayor realismo a la instrucción. Dentro de los simuladores reales o en vivo se encuentran varios tipos. Todos los simuladores de duelo, cumplen la misma función en la instrucción, sin embargo, sus características de uso son distintas.

Por un lado, están los fusiles *airsoft* y la munición marcadora FX. Los fusiles de *airsoft* son reproducciones de armas reales que disparan bolas de plástico biodegradables de 6mm. Estas armas se pueden emplear en múltiples ejercicios que realizan las diferentes unidades de infantería, pero su mayor uso se da en los ejercicios de combate en población, donde la escasa distancia entre los componentes del ejercicio permite su uso (su rango de acción es de apenas 50 metros). La munición marcadora FX tiene el mismo concepto que el *paintball*⁵, expulsar una bola de pintura que en contacto con una superficie deja la marca de la pintura. Esta munición se puede usar desde los fusiles en lugar de la munición de guerra o fogeo⁶. Ambos son sistemas de ámbito civil que pueden tener una aplicación dentro de la instrucción de las Fuerzas Armadas Españolas.

Por otro lado, está el **Sistema de Duelo Individual (SDI) de la empresa Tecnabit**, que consta de una serie de sensores montados sobre el cuerpo y un emisor láser montado sobre el arma real. Con este sistema, el objetivo consiste en abatir al enemigo gracias al láser sin que los propios sensores sean alcanzados por el láser que ha disparado el enemigo ([Grupo Oesia, 2021](#)).

Esta simulación está destinada a la instrucción táctica y de tiro de combatientes individuales, lo que permite simular el combate en infinitos escenarios sin precisar el uso de munición real. Este último tipo de simulador de duelo será sobre el que se va a trabajar en este proyecto.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Hoy en día la tecnología continua progresando y con ella los ejércitos, por lo que los países intentan constantemente dotar a sus tropas con los últimos avances tecnológicos que permitan tener el mejor material de cara al entrenamiento y al combate. Un mejor material mejora el rendimiento en la instrucción, que supone indudablemente una mayor preparación para el combate.

El SDI de Tecnabit lleva en dotación desde el año 2010. Durante estos últimos años la mejora tecnológica ha sido exponencial. Por esto, se puede pensar que hay otros SDI que aunque no dejan obsoleto al actual SDI de dotación, sí que pueden mejorarlo, e incluso dar nuevas alternativas a la instrucción.

Esta es la razón que ha motivado al Tercio “Duque de Alba” 2º de la Legión a proponer este TFG en busca de nuevas alternativas que mejoren la actual capacidad del sistema de SDI. Esta unidad, ubicada en Ceuta, pretende mejorar los sistemas de simulación (en concreto, el

⁵ Deporte en el cual se usan armas de aire comprimido llamadas marcadoras, desde las cuales se disparan pequeñas bolas de pintura contra otros jugadores.

⁶ Cartuchos que carecen de proyectil.



SDI), debido a la falta de campos de tiro, de lugares donde poder realizar ejercicios de fuego real, de instalaciones, de apoyo sanitario para realizar los ejercicios, de presupuestos para munición y de las limitaciones medioambientales. Se puede concluir que el II Tercio quiere seguir mejorando la instrucción de su unidad a pesar de las limitaciones que se le imponen, además de mejorar el realismo de la instrucción que permiten los SDI.

1.3. OBJETIVOS

El trabajo tiene como objetivo principal encontrar las alternativas que mejoren al actual SDI y decidir cuál de estas es la más adecuada. Como paso previo al objetivo principal, se buscarán dos objetivos parciales. El primero es encontrar las deficiencias y carencias del actual SDI, para ello, se contará con la ayuda de los encargados del sistema en Ceuta y de los propios usuarios del Tercio “Duque de Alba” 2º de la Legión. El segundo objetivo parcial es estudiar las características con las que deberían contar las nuevas alternativas propuestas.

Una vez alcanzados esos objetivos parciales, se estará en disposición de abordar el objetivo principal que es buscar las nuevas alternativas. Para ello se aplicará el método Analytic Hierarchy Process (AHP), el cual permitirá encontrar la mejor alternativa.

1.4. ALCANCE

Con este TFG, lo que se pretende es llegar a una alternativa de SDI que mejore al actual. Para conseguir esto es necesario llevar a cabo un análisis del actual, una búsqueda de alternativas y una implementación de un método de proceso de toma de decisiones analítico. Cabe resaltar dentro del alcance del proyecto, que no se ha tenido en cuenta la parte económica de las diferentes alternativas en la aplicación del método AHP. Es sabido que el aspecto económico es muy importante y limitante a la hora de la toma de decisiones acerca de la elección de material en el Ejército, sin embargo, el acceso a la mayoría de los contratos entre los ministerios de defensa y las empresas armamentísticas son confidenciales.

1.5. METODOLOGÍA

Para lograr conseguir los objetivos se han planteado una serie de pasos a lo largo del trabajo que han consistido en la realización conjunta de métodos cuantitativos y cualitativos, los cuales se muestran a continuación:

- **Análisis del SDI por un conjunto de expertos y de usuarios del sistema.**

La idea fundamental es encontrar las deficiencias y carencias que tiene el actual SDI. El primer paso fue contactar con la unidad encargada de los sistemas de simulación. Una vez conocida la unidad, sus capacidades, sistemas de simulación e instalaciones, se llevó a cabo una entrevista (ANEXO II) al jefe de la unidad de simulación. También se le realizó la entrevista a la última persona que había asistido a un curso de actualización del SDI en el año 2019. Se procedió de igual manera con miembros de la 1ª Compañía, para poder encontrar fallos a nivel



usuario. Posteriormente se realizó un *brainstorming*⁷ con los cuadros de mando⁸ (CUMAS) con la idea de encontrar nuevas características con las que podía contar el nuevo SDI y conocer qué características eran importantes y debían ser mantenidas en las nuevas alternativas a proponer.

- **Encuestas.**

A través de este método cuantitativo se pretende conocer la importancia que se otorga a las diferentes características que habían sido propuestas durante el *brainstorming* anterior. Este punto es importante a la hora de buscar nuevas alternativas y para la aplicación del método AHP que se realizaría a posteriori.

- **Estudio y búsqueda de nuevas alternativas.**

Tras el análisis de los datos obtenidos en las entrevistas y las encuestas se realiza una búsqueda de diferentes alternativas al SDI de la empresa Tecnabit. Esta búsqueda se lleva a cabo consultando en diferentes páginas web del ámbito de defensa, foros militares, revistas de armamento y empresas armamentísticas.

- **Método AHP.**

Este método permite encontrar la alternativa óptima al problema que se ha propuesto. Es un método de decisión multicriterio que ayuda a seleccionar entre distintas alternativas en función de una serie de criterios o variables de selección, normalmente jerarquizada, y que suelen entrar en conflicto entre sí. ([González, 2019](#))

1.6. PLANIFICACIÓN

Para llevar a cabo el proyecto, se ha dividido el trabajo en varias etapas:

- Búsqueda de información del SDI con el que cuentan las Fuerzas Armadas Españolas (FAS). Posteriormente, contacto con el personal de la unidad encargado de esta cuestión para poder profundizar en esta información.
- Creación y realización de las encuestas y entrevistas a los diferentes encargados de simulación de la unidad y a los usuarios. Todo ello con el objetivo de encontrar los fallos y carencias del actual SDI y encontrar las características que necesita la nueva alternativa.
- Análisis de los datos obtenidos en las encuestas.
- Búsqueda de los nuevos sistemas de duelo que se adapten a los resultados obtenidos en las encuestas y entrevistas.
- Aplicación del método AHP con las nuevas alternativas.
- Análisis de los resultados del método AHP.
- Redacción de la Memoria del TFG y los Anexos.

⁷ Técnica grupal que tiene como objetivo encontrar nuevas ideas. El método consiste en proponer las ideas que se le vaya ocurriendo al grupo para posteriormente hacer una valoración y crítica sobre estas.

⁸ Este grupo está compuesto por todos los Suboficiales y Oficiales que tienen una relación de mando sobre diferentes unidades del Ejército.



La duración de los distintos hitos y la planificación temporal se puede observar en el siguiente diagrama.

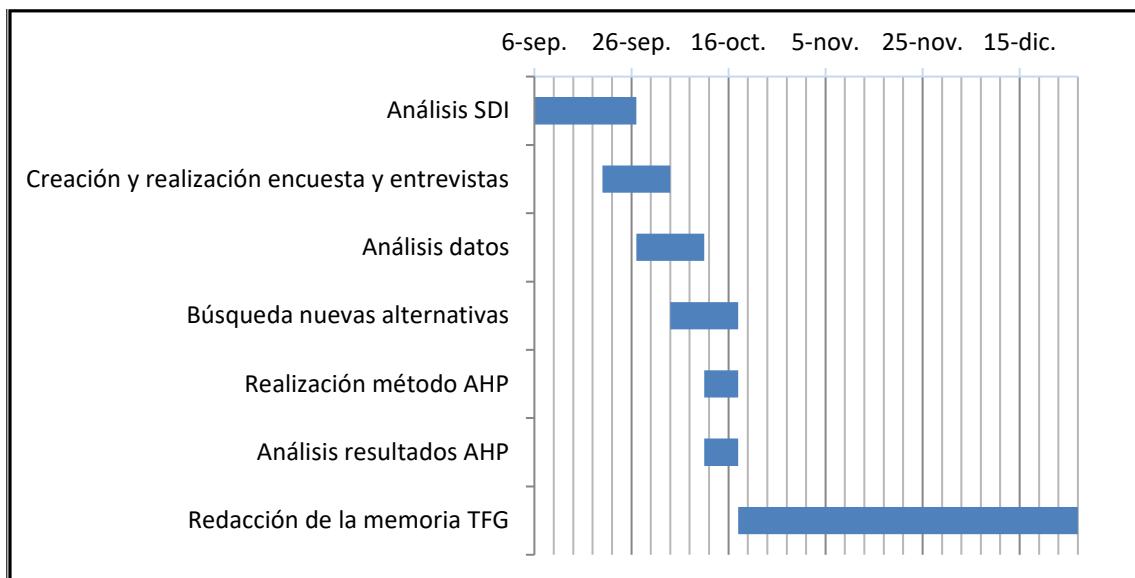


Figura 1: Diagrama temporal de la realización del trabajo

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ESTADO DEL ARTE

Durante la Guerra Fría (1947-1991) la tecnología sufrió un avance exponencial que permitió tanto a los dos países que se encontraban en la contienda, Estados Unidos y la Unión Soviética (URSS), como a grandes países de la Organización del Tratado Atlántico Norte (OTAN) o China, mejorar toda su tecnología militar. Estos avances en el mundo militar se trasladaron al mundo civil, permitiendo grandes desarrollos tecnológicos también en este sector. ([Bravo, 2019](#))

El objetivo de los diferentes ejércitos durante esta contienda fue la búsqueda de una superioridad militar frente al adversario, para ello, se buscaba un mejor material y una mejor instrucción para sus tropas. Con este propósito se crearon una gran cantidad de proyectos de I+D. Muchos de ellos, enfocados en la mejora de la instrucción de sus combatientes, comenzaron con el desarrollo de simuladores que permitiesen emular diferentes escenarios tácticos. Uno de estos primeros proyectos fue el simulador de vuelo, que permitía a los pilotos novatos entrenar sin la necesidad de usar los propios aviones. Después, continuaron con múltiples proyectos de desarrollo de simuladores que han derivado en muchos de los simuladores con los que se cuentan los ejércitos. Durante la Guerra Fría y en los años posteriores estos grupos de trabajo de I+D han ido convirtiéndose en grupos conjuntos entre varios ejércitos, lo que ha permitido un mayor desarrollo y mejora de múltiples sistemas de simulación, además de permitir una interoperabilidad entre muchos de ellos.

Por otra parte, la llegada de los ordenadores y videojuegos en los años 80 a toda la población mundial permitió una explotación de los mismos. Ya no eran solo las Fuerzas Armadas de todos los países los encargados de desarrollar sistemas de simulación, si no que



las empresas también comenzaron con avances en el ámbito de la simulación. Es cierto que el propósito de las empresas generalmente es distinto al de los ejércitos. El objetivo suele ser el entretenimiento, sin embargo, en la búsqueda de éste, los avances tecnológicos permiten ser copiados para los sistemas de simulación que usan los ejércitos. En resumen, los proyectos de I+D de los ministerios de Defensa se nutren también de los avances tecnológicos que desarrollan las empresas civiles y las empresas armamentísticas.

En el caso de España, el mayor incremento de la apertura de programas de I+D para la ayuda del desarrollo de sistemas de simulación se produjo entre los años 90 y comienzo del siglo XXI. Estos programas han permitido la adquisición de múltiples sistemas de simulación que se encuentran actualmente en dotación y que permiten una mejora en la instrucción de los soldados. En España, en los últimos años, los recortes en los presupuestos de Defensa han favorecido la expansión de estos sistemas para poder seguir dotando de una correcta instrucción a todos los niveles de las Fuerzas Armadas.

Los simuladores tienen grandes ventajas como la capacidad de simular múltiples escenarios tácticos, permitir una instrucción más real y permitir instruir a todos los niveles tácticos de la jerarquía militar. Todo esto con un ahorro de costes importantes. Por ejemplo, un piloto que necesita sumar horas de vuelo lo puede hacer gracias a los simuladores ahorrando una gran cantidad de dinero. Otro ejemplo son los juegos de guerra los cuales permiten a los estados mayores o planas de mando simular operaciones tácticas sin la necesidad de desplegar a todo el personal y material, además de obtener un grado de realismo mayor del que se podría encontrar en un campo de maniobras. ([Manrique, 2012](#)). Sin embargo, estos sistemas tienen una desventaja que es el coste e inversión necesarios en la adquisición y mantenimiento de estos materiales. Generalmente son sistemas caros y que necesitan una gran inversión inicial, aunque es cierto que estos gastos están más que justificados y acaban teniendo una rentabilidad sorprendente a lo largo de los años.

En el Ejército de Tierra (ET) la normativa a cerca de los simuladores la regula la Norma General 08/2013 del Subsistema de apoyo a la instrucción, adiestramiento y evaluación en el ET. Dentro de esta normativa se encuentra el Anexo V "Plan Director de la Simulación del ET" del año 2017 que permite ver los ámbitos de aplicación de los sistemas de simulación y las posibilidades que nos da dentro del marco de la instrucción. Estos puntos ya están desarrollados en la página 1. Esta Norma General clasifica a los simuladores según su finalidad y naturaleza.

Según su finalidad se puede encontrar:

Simuladores de apoyo a la enseñanza e instrucción: Sistemas que permiten una enseñanza desde cero o mejora de la instrucción.

Simuladores de apoyo al adiestramiento y evaluación: Sistemas que permiten demostrar los conocimientos adquiridos durante la instrucción y su posterior evaluación.

Según su naturaleza los simuladores pueden ser:

- Reales o simulación en vivo.
- Virtuales.
- *Serious Games*.
- Constructivos.

El SDI que se va a tratar en este trabajo está englobado dentro de los sistemas de apoyo al adiestramiento y evaluación ya que permite poner en práctica lo aprendido durante la instrucción y poder evaluarlo de una manera más real y eficiente. También se encuentra dentro de la familia de los simuladores reales o de simulación en vivo ya que son sistemas en las que las personas reales manejan material real además de permitir simular los resultados de unos



enfrentamientos.

Este tipo de simulador está pensado para unidades desde entidad sección a entidad batallón, permitiendo una gran versatilidad en la ejecución de diferentes ejercicios tácticos.

En lo que respecta al ET, respecto a este simulador, la intención es poder integrarlo con otros sistemas de simulación como el que va integrado en los carros de combate Leopard o los vehículos de combate de infantería Pizarro o ser interoperable con los simuladores NBQ. A su vez también intenta integrar estos sistemas con simuladores virtuales o simuladores constructivos intentando realizar ejercicios tácticos más reales pero a la vez más complejos lo que permite una instrucción en todos los niveles tácticos más eficiente ([Ministerio de Defensa, 2018](#)).

En la OTAN sucede lo mismo. Las líneas futuras son la búsqueda de la interoperabilidad entre los sistemas de simulación y la búsqueda de un uso entre diferentes ejércitos, los cuales usan simuladores distintos. Todo ello permitiría llevar a cabo ejercicios tácticos en los que estuviesen implicados varios ejércitos, con todo lo que ello supondría para la instrucción. Estos ejercicios permitirían ensayar las diferentes TTP que se llevan a cabo en zona de operaciones⁹ donde se ejecutan operaciones conjuntas entre diferentes países de la coalición.

El futuro de los SDI pasa por las empresas de simulación y por los proyectos y programas I+D de los diferentes ministerios de Defensa. Las nuevas ideas para la mejora de estos sistemas son ([Ministerio de Defensa, 2018](#)):

- Reducción del peso del sistema permitiendo un menor desgaste a los usuarios.
- Aumentar la durabilidad de las baterías.
- Buscar la interoperabilidad con otros sistemas y otros ejércitos a través de la estandarización de múltiples elementos del sistema.
- Aumentar las capacidades del sistema. Entre las ideas están la localización GPS de los usuarios, la posibilidad de análisis de datos que permita una mejor evaluación de los ejercicios.
- Aumentar la precisión del láser, el cual permita una instrucción más real.
- Aumentar durabilidad y fiabilidad.
- Abaratar costes del sistema y costes de mantenimiento.

2.2. SISTEMA DE DUELO INDIVIDUAL

El sistema de duelo individual que actualmente se encuentra en dotación cuenta con los siguientes elementos ([TECNOBIT, 2013](#)):

- Puntero láser.
- 4 módulos detectores. (2 para el casco, 1 para la parte delantera del cuerpo/chaleco y 1 para la parte trasera)
- Unidad de control individual.
- Atalajes para los sensores, tanto para el cuerpo como para el casco.

⁹ Lugar en el cual se llevan a cabo diferentes operaciones militares con unos objetivos específicos.



Marcos Javier Chomón López

- Cable disparador (en el caso de que no se use fogeo).
- Pistola de árbitro. Desde la cual se puede reiniciar o incluir incidencias en los ejercicios.
- Mesa de carga.
- Sistema de alineamiento MATAS.
- La versión instrumentalizada incluye una radio y un GPS a portar por uno de los usuarios.

En la siguiente figura se puede observar muchos de los elementos mencionados anteriormente:



Figura 2: Elementos del sistema de duelo individual
Fuente: [TECNOBIT \(2013\)](#)



Figura 3: Pistola de árbitro y unidad de control del sistema de duelo individual.
Fuente: [TECNOBIT \(2013\)](#)

El sistema no instrumentalizado cuenta con un peso según manual de 1,3 kg, mientras que el sistema instrumentalizado tiene un peso de 4,2 kg.

La duración de la batería en los sensores, unidad de control y el emisor láser es de aproximadamente 96 horas, las cuales pueden reducirse dependiendo de la temperatura ambiente. La duración de la pistola de árbitro es de 120 horas. Sin embargo, el arnés individualizado tiene una batería que permite una duración de 80 horas. Por lo tanto el sistema



se puede usar 80 horas si esta instrumentalizado y 96 horas si no lo está.

El sistema permite su uso en el fusil, ametralladora y fusiles de precisión únicamente cambiando el afuste entre el cañón del arma y el emisor láser. Al contrario de otros sistemas, este sistema no cuenta con la posibilidad de instalarse en el riel *Picatinny*.

El sistema permite conocer en qué lugar ha sido alcanzado por un láser del rival, aunque su precisión no es muy grande dado el escaso número de sensores que tiene el sistema.

El tiempo de instalación y alineamiento lleva unos 5-6 minutos en total.

El sistema permite el uso de fogeo, el cual al ser disparado lanza el láser, o de un interruptor que lanza el láser una vez se pulsa.

Algunas de las versiones de este sistema son compatibles con otros sistemas de duelo instalados en carros de combate u otros vehículos.

Para comenzar el uso de este sistema los pasos a seguir son la instalación de los sensores y puntero láser, la sincronización de éstos con la computadora individual y su posterior homogenización del puntero láser. Con estos pasos el sistema estaría listo para ser usado en cualquier ejercicio.

El objetivo del sistema es neutralizar al adversario a través del disparo láser que provoca el puntero y que impacta con uno de los sensores láseres del rival. Con esta dinámica se pueden hacer múltiples ejercicios. Además, el sistema cuenta con la posibilidad de mejorar la instrucción con la versión instrumentalizada. Actualmente el Ejército cuenta con muy pocas de estas unidades. Esta versión tiene una mochila con GPS y radio incorporada que puede conectarse con diferentes puestos de mando para el seguimiento del ejercicio.

3. TEORÍA DEL MÉTODO AHP

3.1. GENERALIDADES

El Analytic Hierarchy Process (AHP) o, como se conoce en español, Proceso de Análisis Jerárquico, es un método cuantitativo, propuesto por Thomas Saaty en 1980, de toma de decisiones multicriterio que permite ser implementado en múltiples ocasiones ([Nantes, 2019](#)).

Este método nos ayuda a seleccionar entre distintas alternativas en función de una serie de criterios (características) o variables de selección, normalmente jerarquizadas, y que suelen entrar en conflicto entre sí. Lo que se quiere conseguir con este método es hacer de un problema grande, varios problemas pequeños que sean más fáciles de resolver. Esto se consigue gracias a la jerarquización de las diferentes características. La estructura jerárquica de arriba abajo sería: objetivo final, criterios y subcriterios (si aplica) y finalmente las alternativas a comparar. Para conseguir todo lo expuesto, uno de los objetivos principales del método es elegir bien los criterios y subcriterios de selección, definirlos adecuadamente y que sean mutuamente excluyentes ([González, 2019](#))

Los pasos a realizar durante el proceso son los siguientes:

- Definición del problema y del objetivo al que se pretende llegar.

Es un hito clave a la hora de realizar el proceso AHP. En este paso de deberá identificar los aspectos que se quieren mejorar. En ocasiones estos



aspectos son identificables gracias a entrevistas o encuestas que se realizan a un comité de expertos.

- **Implantar una estructuración jerárquica.**

Crear una estructura jerárquica de las diferentes características encontradas en el paso anterior. Estas características se estructuran a través de criterios y subcriterios, los cuales se van a evaluar en cada una de las alternativas que se van a proponer.

- **Generación de las escalas de prioridades.**

Estas escalas deben crearse basándose en el criterio de varios expertos del problema en cuestión. La escala de preferencias permite representar la dominancia o preferencia de una característica frente a otra, es decir, hacer una ponderación entre ellas. Posteriormente se repetirá el mismo procedimiento de comparación entre dos alternativas para el mismo atributo a comparar. Esta escala se lleva a cabo mediante la Escala Fundamental de Saaty (Figura 4), la cual permite transformar aspectos cualitativos en cuantitativos, permitiendo las comparaciones entre los diferentes criterios, subcriterios y alternativas. Esta escala generalmente está basada en las opiniones de los expertos y usuarios habituales, los cuales conocen el problema en cuestión y tienen capacidad de ofrecer valoraciones objetivas ([Toscano, 2005](#)).

Escala	Explicación
1	X y Y tienen la misma importancia
3	X es ligeramente más importante que Y
5	X es más importante que Y
7	X es mucho más importante que Y
9	X es extremadamente más importante que Y

Figura 4: Escala de valores de Saaty

Fuente: [Callamanda y Araníbar \(2008\)](#)

Con esta Escala de Valores de Saaty se lleva a cabo una comparación por parejas de las características a comparar, la escala se muestra en la Figura 3. El objetivo es definir la importancia entre los dos aspectos que se están comparando. Este paso se realiza en todos los niveles de la jerarquía, es decir, entre los distintos criterios, subcriterios y alternativas del problema. Una vez se termina la ponderación entre todas las parejas dentro de cada nivel se forman unas matrices como la de la Figura 4. Más adelante en la memoria se abordará la manera en la que se construyen dichas matrices para el programa Expert Choice® que será el usado para realizar el método AHP.

	FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert		5,0	3,0
RUAG Gladiator			7,0
CUBIC MILES	Incon: 0,06		

Figura 5: Ejemplo matriz de comparaciones. Expert Choice®



- Cálculos y desarrollo del método.

Una vez halladas las matrices de comparación, a través de diferentes operaciones matemáticas se llega a la conclusión de qué alternativa es la mejor a nuestro problema. Las diferentes operaciones y pasos del método están desarrolladas en el ANEXO I.

3.2. CONSISTENCIA

Una de las ventajas de esta herramienta es la capacidad de poder verificar su consistencia a lo largo de los procesos y operaciones. Es decir, se puede comprobar si las matrices de comparaciones tienen sentido. Para ello se tienen que cumplir dos propiedades muy simples ([Nantes, 2019](#)).

- **Transitividad.** Esta propiedad declara que si un elemento se relaciona con otro elemento, y a su vez este con un tercero, el primer elemento y el tercero tendrán una relación entre ellos. Por ejemplo, si A es menor que B y B menor que C, A deberá ser menor que C.
- **Proporcionalidad.** Esta cualidad asegura que tiene que haber una relación numérica entre los elementos de la matriz. Por ejemplo, si A es dos veces mayor que B y B tres veces mayor que C, A debería ser seis veces mayor que C.

Si en una matriz no se cumplen todas estas propiedades la matriz irá adquiriendo un nivel de inconsistencia que hará que el juicio del método AHP sea inválido. Sin embargo, este método permite un nivel de inconsistencia del 10%. Cualquier matriz con una inconsistencia mayor del 10% aconseja una revisión de las ponderaciones en las valoraciones de la matriz en la que se ha producido el fallo.

La razón de consistencia de cada matriz se calcula a través de operaciones matemáticas que dependen del tamaño de la matriz, de los criterios que se están analizando y sus ponderaciones. Todos estos cálculos complejos nos proporcionan una razón de inconsistencia que debe ser menor del 10% como se expresó anteriormente.

4. PROCESO DE BÚSQUEDA DE NECESIDADES

Como se ha explicado en el capítulo anterior, uno de los retos del trabajo es componer una estructura jerárquica con los criterios y subcriterios para poder realizar el método AHP. Esto no es más que encontrar las características que se piensa que un SDI debe tener en su sistema. A través del comité de expertos que se haya formado y el grupo de usuarios que se haya tenido en cuenta, se deben descubrir las carencias y los fallos que tiene el sistema actual, además de identificar los aspectos positivos que tiene y que se quieren mantener en las nuevas alternativas que se propongan. En resumen, obtener todas las características con las que evaluaremos las nuevas alternativas del problema.

Es preciso aclarar que no todas las características de los nuevos sistemas serán mejores que las del sistema actual, sin embargo, en el cómputo global si se espera que las alternativas sean mejor que el SDI de dotación.



Para encontrar las características que conformarán los criterios y subcriterios del método AHP en primer lugar se creó una entrevista (ANEXO II) que permitiese encontrar los defectos, fallos y fortalezas del sistema. Posteriormente se llevaron a cabo las entrevistas a los miembros del comité de expertos, compuesto por el jefe de la unidad de simulación, el Cabo 1º López y el Sargento Parada que fue el último CUMA seleccionado para asistir a un curso de actualización del SDI de la empresa Tecnabit que ofreció el ET.

Una vez realizadas las entrevistas, en función de los resultados que se habían obtenido, se procedió a realizar una reunión con los Oficiales y Suboficiales de la 1ª Compañía. El objetivo de la reunión fue realizar un *brainstorming* con el que encontrar nuevas características o aplicaciones que podían tener las nuevas alternativas y añadirlas posteriormente en la realización del método AHP. Las características a estudiar extraídas del análisis de los datos de las entrevistas y de la reunión fueron las siguientes:

- **Rango/Distancia de alcance:** Distancia máxima a la cual el sistema puede funcionar correctamente. Muchas veces esta distancia viene dada por la calidad del láser o de los sensores.
- **Autonomía de la batería:** Se busca una mayor durabilidad de la batería, no solo de la capacidad de carga de la batería. Hay que tener en cuenta que no por tener mayor capacidad de carga esto implica mayor horas de uso, sino que también es necesario estudiar el gasto energético del sistema.
- **Peso del sistema láser montado en el fusil:** Se intenta reducir el peso del elemento del sistema que va integrado con el fusil debido a que el elevado peso de este puede provocar un cansancio elevado en el usuario, además de movimientos no naturales durante el proceso de disparo y retroceso, los cuales pueden reducir la eficacia de la simulación.
- **Peso del sistema de sensores montados en el equipo/cuerpo:** Se intenta reducir el peso del elemento del sistema que va integrado en el cuerpo/chaleco y en el casco para reducir el cansancio del usuario.
- **Capacidad de localizador GPS:** Se busca que el sistema cuente con localizador GPS, lo que permite tener una visión clara de donde se encuentra cada uno de los usuarios, facilitando el mando y control de los jefes de pelotón/sección (Sargentos y Tenientes).
- **Capacidad de medir agrupaciones de disparo:** Se busca tener la capacidad de poder observar donde ha realizado los disparos el usuario, permitiendo ver los fallos, para su posterior corrección. Es una herramienta útil para la instrucción de los tiradores.
- **Capacidad de uso en diferentes armas:** Capacidad para poder usar el sistema en diferentes tipos de armas, ya sean ametralladoras, fusiles de asalto o fusiles de precisión. Las opciones son ajustar el sistema en el cañón del arma o, de la manera más rápida, instalarlo en el raíl *Picatinny*¹⁰.
- **Capacidad de uso de lector digital para evaluar “heridos”:** Se busca que el sistema cuente con una centralita del SDI que indique en qué lugar el usuario ha sido alcanzado por el láser rival y por lo tanto tener la capacidad de simular un procedimiento de primeros auxilios o TCCC¹¹ (Tactical Combat Casualty Care)
- **Capacidad de acceder a todos los datos de disparos, heridos, muertos, etc; en tiempo real:** Se intenta que el SDI cuente con un dispositivo que pueda mostrar en tiempo real o a posteriori diferentes datos que puedan servir para el análisis del ejercicio que se está

¹⁰ Accesorio utilizado en diferentes armas que tiene como objetivo ofrecer una plataforma de montaje estándar para otro tipo de accesorios como miras, linternas o empuñaduras.

¹¹ Procedimiento táctico de cuidado de heridos dentro de una operación militar.



realizando.

- **Tiempo de instalación del sistema:** La intención es que el tiempo de montaje se reduzca al máximo con la idea de aprovechar el mayor tiempo este sistema, debido a las escasas ventanas horarias de uso que suelen tener tanto los sistemas de simulación como las instalaciones necesarias para estos ejercicios.
- **Capacidad de uso en exteriores e interiores:** El sistema tiene que contar con la capacidad de poder realizar ejercicios tanto en campo abierto como en instalaciones subterráneas o edificaciones.
- **Capacidad de uso portátil:** Se busca que el sistema no tenga que depender de ninguna estación de soporte o necesite estar conectado a ninguna red, ya sea red Wifi o Bluetooth.
- **Capacidad de poder utilizar fogeo en el sistema:** La intención es que el sistema tenga la capacidad de poder usar fogeo, lo que permite un mayor realismo al usuario durante el disparo, ya que ofrece un retroceso, que se asemeja al uso del fusil con munición de guerra.
- **Capacidad de uso objetivos pasivos o activos:** El sistema debe contar con la posibilidad de poder usar tanto objetivos activos o móviles (otros usuarios) como objetivos pasivos (dianas).
- **Capacidad de uso simulación extra (Uso de granadas, trampas, IED¹²):** La intención es mejorar la calidad de la instrucción añadiendo una simulación de granadas e IED que permitan dar un mayor realismo a la instrucción de los usuarios.
- **Precisión:** Se busca que el sistema cuente con la mayor precisión posible, con el objetivo de simular de la mejor manera un disparo y posibilitar un mayor realismo durante los ejercicios.

Una vez se terminó este proceso se efectuaron unas encuestas (ANEXO III) con las distintas características y aplicaciones anteriores. Estas encuestas fueron contestadas por gran parte de los CUMAS de la 1^a Compañía y parte de la Tropa que lleva años usando esta tecnología, con la idea de que valorasen del 1-10 la importancia que le daba cada uno de los encuestados a las diferentes características propuestas. Durante la realización de la entrevista se pedía una visión personal en la que se diese la importancia a cada una de las características según el puesto táctico que ocupase el encuestado. No es lo mismo la visión de los jefes o de los fusileros, donde los intereses pueden ser distintos. Por ejemplo, al jefe de sección le pueden interesar más aspectos como incluir GPS, poder acceder a todos los datos o el tiempo de montaje. Mientras, al fusilero le puede interesar más el peso del sistema que se instala en el fusil y en el cuerpo o la duración de la batería. En resumen, a diferentes niveles pueden obtenerse distintos resultados. Es por esto, que a la hora de realizar la encuesta se han seleccionado el mismo número de Jefes de Sección (Tenientes) que al nivel fusilero (Cabos y Legionarios) y un gran número de Suboficiales (Sargentos), los cuales tienen una visión intermedia, ya que conocen mejor tanto las necesidades del Teniente como las del fusilero. Por tanto, se encuestarán a un total de 12 personas, 3 Tenientes, 6 Sargentos, 1 Cabo y 2 Legionarios.

En la siguiente tabla se puede ver los resultados de los encuestados:

¹² Artefacto explosivo improvisado.



Tabla 1: Resultados de las encuestas realizadas

Preguntas	TENIENTES			SARGENTOS						TROPA			Media resultados
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	
P1	8	9	7	8	7	8	9	8	9	6	6	7	7,66
P2	9	7	8	9	7	10	10	10	9	10	10	10	9,08
P3	2	1	3	2	3	3	2	3	5	4	4	7	3,25
P4	8	10	10	8	7	8	7	8	9	5	5	7	7,66
P5	8	7	6	9	7	8	9	9	7	8	8	7	7,75
P6	8	7	7	7	8	2	6	7	6	3	4	6	5,91
P7	9	9	10	10	9	8	8	10	9	6	5	6	8,25
P8	4	4	3	5	7	6	5	5	4	3	3	2	4,25
P9	9	8	7	9	7	3	9	10	9	7	7	6	7,58
P10	8	8	9	7	8	7	9	8	7	8	7	8	7,83
P11	7	8	5	9	9	6	7	5	7	8	7	6	7,00
P12	6	5	6	7	7	8	10	10	8	6	5	6	7,00
P13	7	6	5	3	4	7	6	6	5	2	1	1	4,41
P14	4	5	5	4	7	5	4	5	5	3	3	4	4,50
P15	6	6	7	4	9	4	8	5	8	6	6	5	6,16
P16	9	10	9	10	10	8	10	10	7	9	9	10	9,25

El orden de preferencia de los expertos fue el siguiente:

Resumen de los resultados de la encuesta

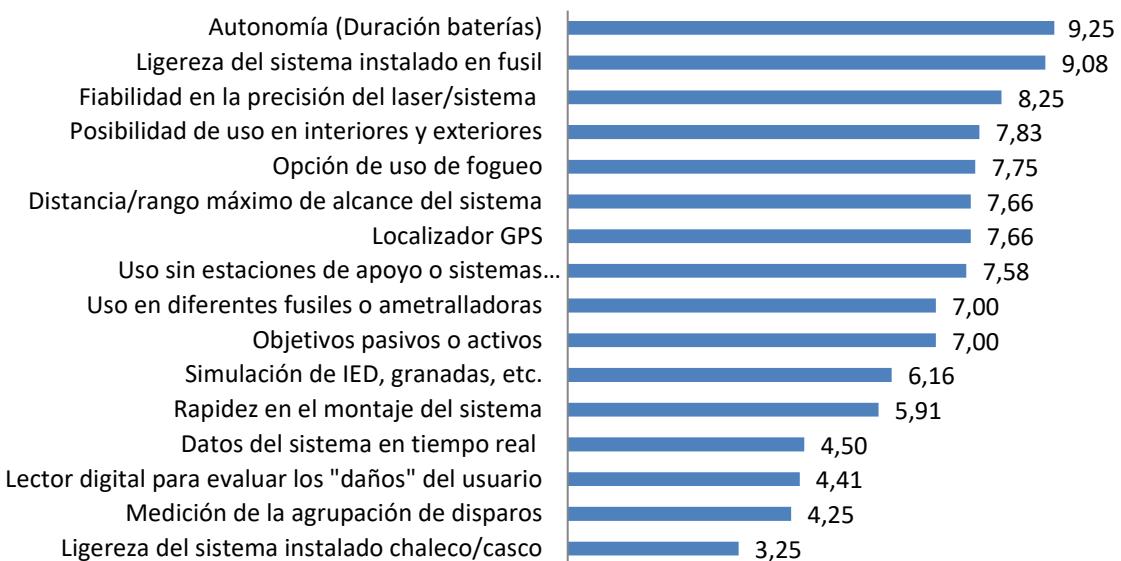


Figura 6: Resultado de las encuestas por orden de importancia

Como se puede ver, los expertos tienen diversas opiniones, sin embargo, son los Sargentos los que más se acercan a los resultados que surgen de hacer la media en los datos de las encuestas, pudiendo asegurar que son los Sargentos los que mayor visión global tienen



acerca de los SDI y que mejor conocen las necesidades de los sistemas.

Puede llamar la atención la falta de un aspecto como es el económico. Esto es debido a que no se ha querido introducir en las encuestas de manera consciente. La razón es que, aun sabiendo que es uno de los aspectos más importante a la hora de elegir entre varias alternativas, la falta de información ha obligado a no tenerlo en cuenta. La confidencialidad de los contratos entre los ministerios de Defensa y las empresas que sirven a los ejércitos hace en ocasiones imposible poner un precio al sistema. Por eso se ha desestimado este aspecto en el alcance de este proyecto.

5. BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS

Una vez realizados los pasos anteriores y, obtenidas las características y las aplicaciones que se cree que un SDI debería tener, se pasó a la búsqueda de nuevas alternativas al SDI de dotación actual.

Es necesario explicar que no todos los sistemas contarán con las características y aplicaciones que se habían marcado, y en ocasiones algunas de las características serán peores que las del sistema actual, sin embargo sí que se buscan alternativas que mejoren al SDI de la empresa Tecnabit en el cómputo general.

Para la búsqueda de diferentes alternativas se ha procedido a buscar SDI en el ámbito civil que se puedan usar dentro de nuestro ejército y que ya han sido implementados o estén siendo implementados en otros ejércitos, y de los cuales, se tiene conocimiento de que tienen buen rendimiento y que se pueden introducir fácilmente en dotación. La búsqueda se ha realizado especialmente en ejércitos con gran prestigio y poder militar. Se ha hecho búsqueda en las Fuerzas Armadas de Estados Unidos, China, Rusia, Reino Unido, Alemania, Israel y otros países de la OTAN. A su vez, la mayoría de SDI de ámbito civil han sido encontrados en empresas americanas y europeas.

La investigación ha dejado una lista con múltiples opciones:

- FN® Expert – Empresa civil
- Legatus Rheinmetall – Ejército alemán
- RUAG Gladiator – Ejército británico
- SINCOMFAS (prototipo) – Ejército español
- GAIM Sistem – Empresa civil
- MILES IWS2 CUBIC – Ejército americano
- Saab's Ground Combat Indoor Trainer (enemigo virtual) – Ejército suizo y estonio
- KASI Manpack 300 – Ejército finlandés

Entre todas estas alternativas se han elegido los sistemas que más se ajustaban a los criterios de los resultados de las encuestas. Es decir, los sistemas que cuentan con el mayor número de aplicaciones que se ajustan a las necesidades del problema o los sistemas que mejores números tenían respecto a autonomía, precisión, alcance, etc. A continuación se realizará una breve explicación de los sistemas y de las características de los SDI elegidos:



- **FN® Expert.**

Sistema creado por una empresa belga de ámbito civil llamada FN Herstal. Actualmente no está en dotación en ningún ejército, sin embargo, la mayoría de sus usuarios son militares que hacen uso del SDI durante su tiempo libre. Es un sistema de entrenamiento que ofrece desde una instrucción básica hasta una instrucción táctica

más precisa a los tiradores. Este sistema se centra en la mejora del tiro,

ya que permite medir el movimiento del rifle, detecta el disparo, muestra la ubicación tanto del acierto como del error y analiza el desempeño del tirador. Se puede usar para la instrucción individual y para la instrucción de duelo, ya que permite colocar sus sensores en blancos activos y pasivos. Se puede usar en un rango de 5 a 300 metros, permitiendo el uso tanto en interiores como exteriores. Permite su uso en cualquier tipo de fusil o pistola (hasta calibre 12,70 x 99 mm) si este contiene un riel Picatinny. Además este SDI permite observar los datos del ejercicio que está realizando el usuario, o en su defecto guardarlo en una memoria para observarlo una vez finalizado el ejercicio. Estos datos contienen múltiple información acerca de la precisión del usuario, lo que permite ver los fallos y corregirlos por parte del instructor ([FN Herstal, 2021](#); [Army Recognition 2019](#)).



Figura 7: Sensor de disparo del SDI FN® Expert
Fuente: [Army Recognition \(2019\)](#)

- **RUAG Gladiator.**

El sistema Gladiator pertenece a la empresa Suiza RUAG y se encuentra en dotación en el Ejército Británico desde 2020. Este SDI es descrito como un sistema de entrenamiento en varios escenarios de fuego en el que sus principales características son su amplio rango de precisión, su posibilidad de conocer el estado del "herido" (explicado en página 12), la localización de sus integrantes y la capacidad de poder usar otras armas de simulación dentro del escenario (por ejemplo IED, trampas, granadas, etc). Dispone de la posibilidad de incluir sensores por todo el cuerpo, lo que permite un mayor realismo en ese duelo simulado. El sistema es compatible con los sistemas de duelo que se montan en vehículos, permitiendo una instrucción conjunta con unidades montadas en diferentes vehículos militares. Su modulo



Figura 8: Sensores y sistema láser del SDI Gladiator
Fuente: [RUAG Group \(2021\)](#)



láser tiene la posibilidad de ser montado tanto en el riel *Picatinny* como sobre el cañón del fusil que se esté usando ([RUAG Group, 2021](#)).

- **Cubic MILES IWS2- Multiple Integrated Láser Engagement System Individual Weapon System 2.**

Este SDI de la empresa Americana Cubic Global Defense está en dotación en el ejército americano desde el año 2016, aunque las versiones anteriores del mismo sistema llevan desde los años 2000 en dotación de una gran cantidad de ejércitos del mundo. Es un sistema que tiene una gran facilidad de instalación y calibrado por el propio usuario, lo que facilita su utilización. Es interoperable con otros sistemas instalados en vehículos, lo que permite usarlo en ejercicios de mayor complejidad táctica. Otra de sus grandes características es que gracias a sus transmisores láser esparcidos por el cuerpo se puede imitar el alcance efectivo de los disparos láser y conocer el daño que supuestamente ese disparo hubiese producido en la realidad. Esta información es recopilada por el terminal móvil del SDI y un médico a través de la lectura digital puede saber qué primeros auxilios debería aplicar al supuesto “herido” ([CUBIC, 2021](#); [US Army, 2012](#)).



Figura 9: Sensores y sistema láser del SDI MILES IWS2

Fuente: [Army Recognition \(2019\)](#)

Estos sistemas tienen las mismas aplicaciones y usos parecidos, sin embargo los valores del peso del sistema, duración de batería, precisión del láser, etc. cambian. Todos estos aspectos serán desarrollados en profundidad en el ANEXO IV, donde se podrán observar mejor las diferencias entre los sistemas. Estas pequeñas diferencias serán las que hagan que el proceso se decante por una u otra alternativa.

6. APLICACIÓN MÉTODO AHP

Durante la realización de esta memoria se usará el software Expert Choice®, el cual permitirá realizar todos los cálculos que el método AHP necesita. Este software posibilita que los errores de cálculo desaparezcan del proceso, además de facilitar una serie de datos que ayudan en la lectura y comprensión del método. Sin embargo, antes de usar este programa es necesario hacer una serie de pasos como se explica a continuación.

Como primer paso, se pedía identificar los aspectos que se quieren mejorar del actual SDI. Para ello, se han realizado las diferentes entrevistas a los expertos que han dejado un gran número de características del sistema a analizar (páginas 11-14).

Estas características se han usado para conformar la jerarquización del problema. Todos estos aspectos se han configurado como subcriterios. A su vez, estos se han agrupado en diversos criterios. Para conseguir esto, se han juntado varios subcriterios relacionados entre sí para crear los criterios que luego se compararán en la siguiente etapa del método como se puede ver en la Figura 12.



En la tercera etapa del método, se lleva a cabo la comparación de la importancia de un subcriterio frente a otro dentro de cada uno de los criterios (Ej. Comparación de importancia entre ligereza del sistema instalado en el fusil y ligereza instalado en el chaleco). Estas comparaciones no se deben realizar entre subcriterios englobados dentro de diferentes criterios. Se debe repetir el mismo procedimiento comparando los criterios entre sí (Ej. Comparación de importancia entre el realismo y la operatividad). Para finalizar, con las tres alternativas habrá que hacer ponderaciones entre ellas teniendo en cuenta únicamente una de sus características (Ej. Comparar la autonomía entre las alternativas al problema) y hacer lo mismo con cada una de las características, es decir habrá que repetir este proceso dieciséis veces.

Para realizar estas ponderaciones/comparaciones este método necesita usar la Escala de valores de Saaty, la cual permite poner un valor cuantitativo a la importancia de un criterio/subcriterio frente a otro. Gracias a las encuestas realizadas podemos ver la importancia que le han dado los usuarios a las diferentes características, lo que permite poder dar un valor de la escala de Saaty cuando enfrentamos una característica a la otra siguiendo el siguiente método:

La Escala de valores de Saaty permite dar cinco valores (1,3,5,7 y 9), los cuales dependen de la importancia de los criterios/subcriterios frente a otros. La encuesta realizada daba valores entre 1 y 10. El problema surge a la hora de comparar las valoraciones que los encuestados han puesto a cada una de las características. Lo primero que se puede pensar es dividir las valoraciones entre sí para conocer cuanta importancia tiene un aspecto sobre otro, sin embargo, esto no es posible ya que dividir una valoración de 4 y 2, da el mismo resultado que dividir valoraciones de 10 y 5, siendo la diferencia entre cada una de las comparaciones de 2 y de 5 respectivamente. Por esta razón es descartada la idea de dividir entre las dos valoraciones para conocer la importancia de un criterio respecto al otro.

Para poder conseguir la ponderación entre dos aspectos buscaremos dividir una escala en cuatro partes iguales. El motivo de dividirlo entre 4 es debido a que la escala de Saaty solo tiene 5 valores para comparar un aspecto por otro. Sin embargo se divide entre 4 porque si no hay un salto de tramo entre los valores a comparar se valora como 1 en la Escala de Saaty. Por ejemplo, la escala para comparar los subcriterios va del 1 al 10. Esta escala la dividimos entre cuatro, lo que nos da 2,25. A este resultado lo llamaremos “salto”. A continuación se pasa a comparar ambos aspectos, los cuales generalmente tendrán distinta valoración. Se calcula la diferencia entre el aspecto con mayor valoración con la de menor valoración y se divide entre el “salto” que previamente se había calculado. Este número nos dará la información del número de saltos que hay entre las dos valoraciones. Un ejemplo es la valoración que se le da a la ligereza del sistema instalado en el fusil y la ligereza del sistema que se instala en el cuerpo/chaleco. Estas valoraciones son de 9,08 y 3,25 respectivamente. La diferencia entre las dos valoraciones es de 5,83, que dividido entre el “salto” (en este caso 2,25 hallado anteriormente) da un resultado de 2,59 saltos. Se redondea este resultado por lo que serían 3 saltos. El número de saltos está asociado a un valor en la Escala de Saaty, siendo 0 el mínimo número de saltos y 4 el máximo número de saltos. La asociación entre los saltos y los valores de Saaty quedan reflejados en la siguiente figura:

Tabla 2: Asociación de saltos de tramo y la Escala de Saaty

Saltos de tramo	0	1	2	3	4
Valor en la Escala de Saaty	1	3	5	7	9

En el ejemplo anterior 3 saltos implicaría un valor de 7 en la Escala de Saaty. La relación entre el número de la Escala de Saaty y la importancia asociada se puede ver en la Figura 3.



Por lo tanto se concluye que la ligereza del sistema instalado en el fusil es mucho más importante que la ligereza del sistema instalado en el cuerpo/chaleco.

En el caso de los criterios, no se cuenta con una encuesta en la que se refleje con un valor la importancia que tiene para cada uno para los usuarios, por lo que su valor será la media aritmética de todos los subcriterios con los que cuente. Con esto se consigue que aunque haya criterios con más subcriterios que otros, esto no influya en la comparación entre cada criterio.

Tabla 3: Criterios y subcriterios con sus valoraciones de importancia

Criterios	Subcriterios	Valores
Ligereza	Ligereza del sistema instalado en fusil	9,08
	Ligereza del sistema instalado en chaleco/cuerpo y casco	3,25
Realismo	Distancia/rango máximo de alcance del sistema	7,66
	Opción de uso de fogueo para dar mayor realismo al sistema	7,75
	Fiabilidad en la precisión del laser/sistema	8,25
Operatividad	Rapidez en el montaje del sistema	7,51
	Posibilidad de usar en cualquier lugar sin necesidad de usar estaciones de apoyo o sistemas bluetooth	7,58
	Posibilidad de uso en interiores y exteriores	7,83
	Autonomía (Duración baterías)	9,25
	Posibilidad de usar el mismo sistema en diferentes armas	7,00
Simulación e instrucción	Posibilidad de incorporar objetivos pasivos o activos	7,00
	Posibilidad de tener un lector digital para evaluar que método de primeros auxilios usar a la persona "herida"	4,41
	Posibilidad de tener todos los datos del sistema en tiempo real (disparos efectuados, efectividad, posición gps...)	4,50
	Posibilidad de simular los efectos de IED, granadas, etc	6,16
	Posibilidad de medir agrupación de disparos	4,25
	Posibilidad de contar con localizador GPS	7,66

En la ponderación entre las alternativas frente a un único subcriterio se realiza el mismo procedimiento que para las comparaciones entre criterios/subcriterios con la única diferencia de que los límites mínimos y máximos de la escala variarán, al igual que el "salto". Sin embargo, el resto del procedimiento es el mismo para determinar la importancia de una alternativa sobre otra.

Para realizar esa nueva escala que tendrá diferentes límites, el modo a proceder será tener todos los datos de todas las alternativas que se han estudiado (no solo las tres alternativas finales) e ir escogiendo el valor mínimo y máximo. Por ejemplo, el alcance máximo de los SDI que se han observado durante la recogida de datos y búsqueda de las posibles alternativas del sistema tienen un rango que va desde 20 a 1000 metros. Dividimos la escala entre cuatro y nos da un "salto" de 245. Nuestras tres alternativas finales cuentan con un rango máximo de 300, 400 y 550 metros de los sistemas FN, Gladiator y MILES IWS2 respectivamente. Comenzamos entonces la comparación entre las diversas alternativas. Para la comparación de la importancia del sistema Gladiator respecto al sistema FN, restaremos 400 menos 300 y lo dividiremos entre el "salto" (245 en este caso), lo que nos da un resultado de



0,408 saltos, lo que redondeado nos da 0. Esto según la figura 10 se transforma en 1 en la Escala de Saaty, por lo que se puede afirmar que el sistema Gladiator y FN en materia del alcance máximo del sistema son igual de importantes. Para el resto de comparaciones habría que repetir el mismo proceso cambiando los números.

Para los aspectos del sistema que no son cuantificables, es decir, que el sistema cuenta o no con esta característica el modo a proceder será tratar el tener esa capacidad como 1 y no tenerlo como un 0. De esta manera al realizar la comparación como se ha explicado anteriormente las comparaciones solo podrán salir como resultado un 1 o 9 en la Escala de Saaty.

6.1 MATRICES DE COMPARACIONES

Para un mayor entendimiento de todo el proceso para la creación de las matrices de comparación se va a realizar el proceso desde cero con un ejemplo de las comparaciones entre las alternativas de un subcriterio del problema. En este caso se va a hacer del subcriterio ligereza del sistema instalado en el fusil:

Para ello tenemos los siguientes datos:

- FN® Expert 375 gramos
- RUAG Gladiator 200 gramos
- CUBIC MILES IWS2 450 metros

Además, recuperamos todos los datos del resto de sistemas que eran posibles alternativas y resulta que nos da un rango de entre 200 y 570 gramos. Estos datos serán los límites mínimos y máximos respectivamente de la escala que tenemos que crear. Esta escala se divide en cuatro tramos. Cada tramo será de 92,5 gramos y a este número le llamaremos “salto”.

Posteriormente comenzamos con las comparaciones:

- FN® Expert VS RUAG Gladiator.

Se comienza con el cálculo de la diferencia entre ambos sistemas que será de 175 gramos, esto se divide entre el “salto” dando un resultado de 1,89 el cual redondeado es 2 que es equivalente a 5 en la Escala de Saaty. Destacar que en este caso el de menor peso es el más importante ya que se está evaluando la ligereza. Por lo que la conclusión es que el sistema Gladiator es más importante que el sistema FN en cuanto a ligereza se refiere.

- FN® Expert VS CUBIC MILES IWS2.

La diferencia entre ambos sistemas es de 75 gramos, que dividido entre el “salto” resulta 0,81 el cual se redondea a 1. Esto equivale a 3 en la Escala de Saaty, por lo que el sistema FN es ligeramente más importante que el sistema MILES en cuanto a ligereza se refiere.

- RUAG Gladiator VS CUBIC MILES IWS2.

La diferencia de ambos sistemas es de 250 gramos, el cual dividido entre el “salto” nos da un resultado de 2,70 el cual redondeamos a 3, que equivale a 7 en la Escala de Saaty. Se puede afirmar entonces que el sistema Gladiator es mucho más importante que el sistema MILES en cuanto a ligereza se refiere.



Una vez realizadas todas las comparaciones dentro del subcriterio, se conforma la matriz de comparación, la cual es introducida en el software Expert Choice®. El proceso para introducir una comparación consta de indicar el número en la Escala de Saaty y cuál de las dos alternativas es más importante:



Figura 10: Elección de la importancia entre alternativas para un subcriterio. Expert Choice®

Este proceso se repite con cada una de las comparaciones. Al final el programa forma de manera automática la matriz de comparación:

	FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert		5,0	3,0
RUAG Gladiator			7,0
CUBIC MILES	Incon: 0,06		

Figura 11: Matriz de comparación de las alternativas para el subcriterio ligereza del sistema instalado en el fusil. Expert Choice®

Se puede observar que hay números tanto en negro como en rojo. Esto es debido a que el programa introduce los números en negro cuando el criterio de la fila es más importante que el criterio de la columna y rojo cuando es al contrario. El número dependerá de la Escala del valor de Saaty, como ya se ha explicado.

El programa nos da el valor de inconsistencia de esa matriz a través de los cálculos que se pueden ver en el ANEXO I. En este caso, el valor de inconsistencia de las matrices nos hace indicar que las ponderaciones tienen sentido y que cumplen con las propiedades de transitividad y proporcionalidad que fueron explicadas en el punto 3.2. En el caso de que este valor de inconsistencia hubiese sido mayor de 0,1 en alguna de las matrices (no se da ese caso) hubiese significado que el sistema para evaluar la importancia entre cada uno de los criterios, subcriterios y alternativas hubiese fallado.

También se puede ver otro ejemplo de las comparaciones que no son cuantificables y que se calificaban como 0 o 1 según se tuviese o no esa capacidad.

En este ejemplo se muestra la comparación entre las alternativas teniendo en cuenta el subcriterio del localizador GPS. En este caso FN Expert no cuenta con esta capacidad, mientras que el sistema Gladiator y MILES IWS2 sí.

	FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert		9,0	9,0
RUAG Gladiator			1,0
CUBIC MILES	Incon: 0,00		

Figura 12: Matriz de comparación de las alternativas para el subcriterio del localizador GPS. Expert Choice®

En el caso de que ambas alternativas que se están comparando no tengan esa capacidad (se califican como 0) o ambas tengan esa capacidad (se califican como 1) la importancia entre ellas será de 1 en la Escala de Saaty, es decir, son igual de importantes. Por el contrario, si en las comparativas una de las alternativas cuenta con una característica (valorado como 1) y la otra no (valorado como 0) la importancia entre ellas será de 9 en la Escala de Saaty, por lo que podremos afirmar que la alternativa que cuenta con la característica es extremadamente más importante que la alternativa que no cuenta con esta capacidad/aspecto.



En esta parte del método se deben crear un total de 21 matrices de comparación (1 matriz para los criterios, 4 matrices para los subcriterios y 16 matrices para las alternativas). En el ANEXO V se pueden ver todas las matrices.

6.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A medida que se van completando las diferentes matrices, el software automáticamente devuelve el valor en tanto por uno de la importancia de los subcriterios dentro de los criterios, de las alternativas dentro de cada característica/subcriterio, o el peso que tiene cada criterio dentro del problema. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de los subcriterios con los que cuenta el criterio de simulación e instrucción y el peso que tiene cada uno dentro del criterio.

Objetivos activos/pasivos	,238
Lector digital	,079
Datos en tiempo real	,079
Simulación IED y granadas	,203
Medición agrupación de disparos	,072
Localizador GPS	,328

Figura 13: Puntuaciones del peso de cada subcriterio para el criterio Simulación e Instrucción. Expert Choice®

También se puede ver los pesos de cada criterio dentro del problema:

Ligereza	,125
Realismo	,375
Operatividad	,375
Simulación e instrucción	,125

Figura 14: Puntuaciones del peso de cada criterio dentro del problema. Expert Choice®

A continuación se muestra un ejemplo de los pesos de cada alternativa dentro del subcriterio del alcance máximo del láser del sistema.

FN Expert	,105
RUAG Gladiator	,258
CUBIC MILES	,637

Figura 15: Puntuaciones del peso de cada alternativa para el subcriterio del alcance máximo del láser. Expert Choice®

Un gran peso de una de las alternativas dentro de un subcriterio no es necesario que sea significativo ya que dependerá posteriormente del peso del subcriterio y del criterio dentro del problema. Es decir puede que una de las alternativas tenga un gran peso dentro del subcriterio, pero que a su vez ese subcriterio apenas tenga importancia dentro del criterio y el criterio poco peso en el problema.

Con la síntesis y cálculos de todos estos datos el programa ha calculado que peso tiene cada alternativa en el conjunto del problema y por tanto puede concluir que alternativa se adapta mejor al problema. En este caso **es el SDI Gladiator de la empresa RUAG el que mejor cumple con las necesidades del problema**. En el siguiente gráfico se puede observar los resultados que nos da el programa:

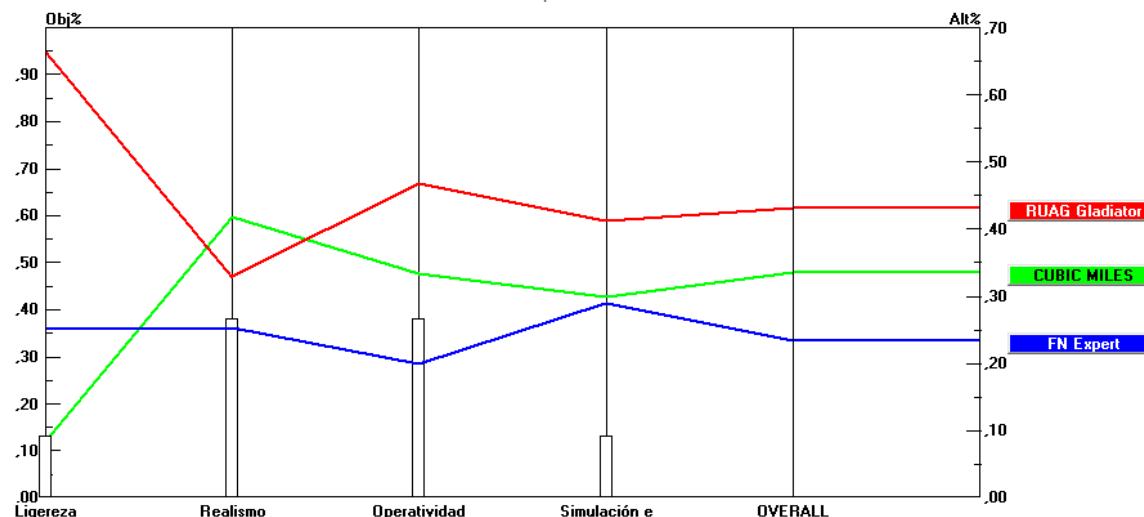


Figura 16: Gráfica de puntuaciones de las alternativas. Expert Choice®

En este gráfico se pueden observar muchos datos relevantes para el problema. Las barras nos indican en tanto por uno la importancia de cada criterio respecto al problema total (observar porcentaje de la izquierda). También se puede observar la importancia de cada SDI para cada criterio en tanto por uno (observar porcentaje de la derecha), al igual que la importancia de cada uno de ellos en el cómputo global del problema (en la columna OVERALL). Por lo tanto, este gráfico permite ver los puntos fuertes y débiles de cada sistema frente a cada criterio y poder compararlo con las demás alternativas.

Analizando las gráficas se puede ver que no hay un criterio predominante sobre el resto, si no que el criterio Realismo y Operatividad tienen la misma importancia para los expertos, al igual que los criterios de Ligereza y Simulación e Instrucción. Sin embargo, los primeros tienen el triple de importancia que los segundos. Otra conclusión a la que se puede llegar es que el SDI Gladiator se impone en 3 de los 4 criterios (Ligereza, Operatividad y Simulación e Instrucción) mientras que CUBIC MILES IWS2 se adapta mejor al criterio de Realismo. Por el contrario, el SDI FN® Expert no predomina en ninguno de los criterios.

El software presenta de forma automática el peso de las alternativas dentro de cada subcriterio, a su vez el programa mostrará el peso de cada subcriterio dentro de su criterio. Todos estos datos se pueden consultar en el ANEXO V. Gracias a estos datos es posible también calcular los pesos que tendrán las alternativas para cada criterio.

A continuación se va a proceder a un análisis individual de cada uno de los criterios mostrando el peso de cada alternativa para cada criterio.

- **Ligereza:**



Figura 17: Peso de cada alternativa para el criterio Ligereza. Expert Choice®

En este criterio se puede ver que el sistema que mejor se adapta a esta característica es el SDI Gladiator con una puntuación de 0,66 sobre 1, una amplia ventaja respecto al resto de sistemas. Esta puntuación se debe en gran parte a la ligereza del elemento del sistema que se acopla en el fusil, ya que este subcriterio tiene una puntuación de 0,875 frente a 0,125 del subcriterio de la ligereza del elemento del sistema acoplado en el cuerpo.



- **Realismo:**



Figura 18: Peso de cada alternativa para el criterio Realismo. Expert Choice®

En esta característica, no hay un subcriterio predominante, si no que todos tienen la misma importancia. Igualmente no hay ninguna alternativa que destace en los tres subcriterios a la vez, sin embargo en el cómputo general es el sistema MILES el que destaca frente al resto.

- **Operatividad:**



Figura 19: Peso de cada alternativa para el criterio Operatividad. Expert Choice®

En este criterio, la característica que prevalece sobre el resto es la autonomía del sistema (0,42 frente a 0,14 del resto). Al ser el sistema Gladiator dominante en este subcriterio (con un peso de 0,67) hace que el SDI Gladiator sea dominante en este criterio respecto al resto de alternativas.

- **Simulación e Instrucción:**



Figura 20: Peso de cada alternativa para el criterio Simulación e Instrucción. Expert Choice®

Este apartado cuenta con hasta 6 subcriterios, dentro de los cuales las puntuaciones que se han otorgado son muy distintas. Sin embargo hay un sistema que en el cómputo global se adapta mejor que es el SDI Gladiator. Se puede ver que la diferencia de importancia entre el sistema de FN® y CUBIC es casi insignificante.

Los datos finales y que otorgan al SDI Gladiator de la empresa RUAG como la mejor opción para el problema son los siguientes:



Figura 21: Peso de cada alternativa del problema. Expert Choice®



7. SENSIBILIDAD MÉTODO AHP

Para finalizar el análisis del método, dentro del programa de Expert Choice® hay una herramienta que nos permite analizar la consistencia y sensibilidad de los resultados obtenidos en el caso de cambiar los pesos de los criterios. Esta herramienta ofrece unas gráficas que se pueden analizar para ver qué cambios sucederían si el peso dado por los expertos hubiese sido distinto o si por el contrario no sucedería nada. Gracias a estas gráficas se puede comprobar si el mínimo cambio en la importancia de los subcriterios que le han dado los expertos en las encuestas cambiaría el resultado final. Estas gráficas se generan para cada uno de los criterios, por lo que se analizarán individualmente de la siguiente manera:

Ligereza:

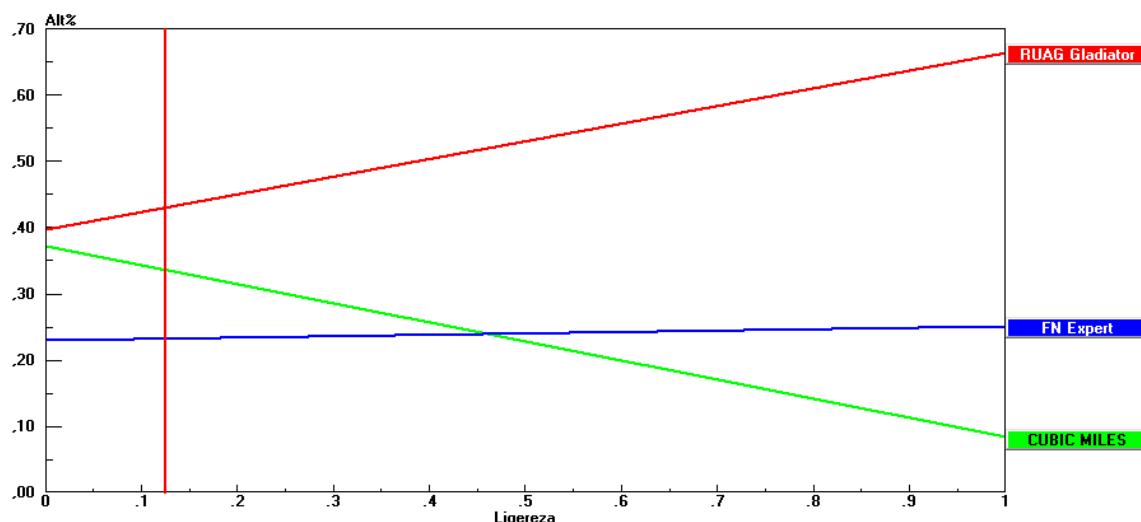


Figura 22: Gráfica de sensibilidad del criterio Ligereza. Expert Choice®

Antes de analizar la sensibilidad de este criterio es preciso explicar en qué consisten los siguientes datos que se nos dan en la gráfica. En el eje X se encuentra una escala del 0 al 1 que indica el peso del factor ligereza en el problema, por otro lado en el eje Y se encuentra una escala del 0 al 1 (en este caso hasta 0,7 ya que es un zoom sobre la gráfica) en la cual se indica el peso de cada una de las alternativas para el problema. La línea vertical roja indica el peso que tiene el factor ligereza para los expertos. Las líneas roja, verde y azul pertenecen a cada una de las alternativas del problema e indican la relación peso del criterio con el peso de la alternativa en el problema. Es decir, se puede conocer el peso que tendría cada alternativa si se varía el peso del factor ligereza en el problema.

Para este criterio se puede afirmar que no existe una posibilidad en la cual al cambiar el peso de la importancia de la Ligereza se cambie al SDI Gladiator como mejor alternativa. Sin embargo, existe un punto crítico (punto en el cual cambiaría el orden de preferencias) en 0,45 del peso de Ligereza en el cual FN® Expert pasaría a tener un mayor peso que el SDI MILES. Se puede analizar también que a mayor peso del criterio, mayor será el peso del sistema Gladiator en detrimento del sistema MILES.



- **Realismo:**

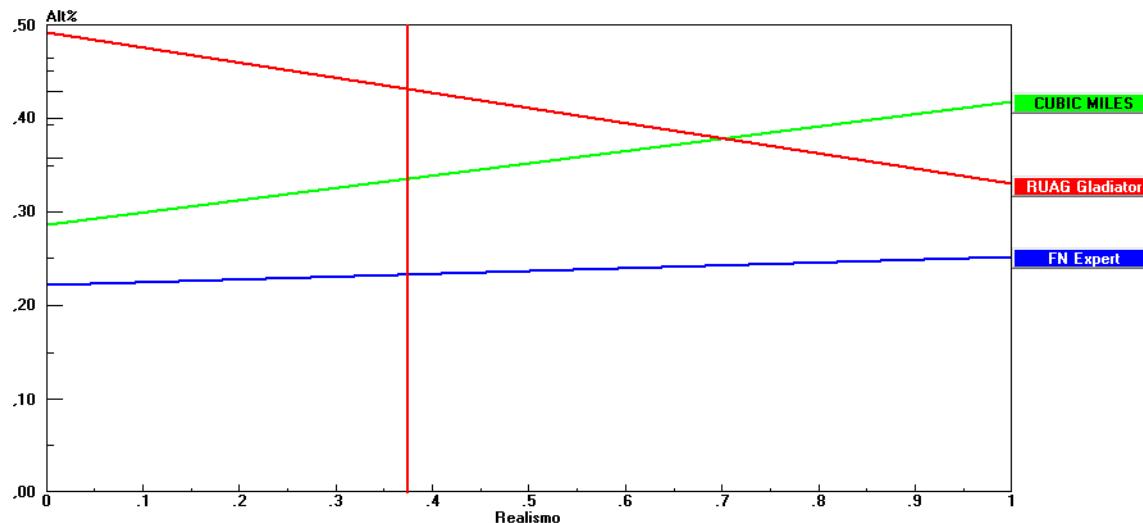


Figura 23: Gráfica de sensibilidad del criterio Realismo. Expert Choice®

En el caso de este criterio, el punto crítico más importante es el de 0,7 en el peso del Realismo en el problema, a partir del cual cambiaría el resultado de la mejor alternativa al SDI MILES IWS2. Es importante comentar que este suceso se produce ya que el peso del sistema MILES para este criterio es mayor que el del sistema Gladiator.

- **Operatividad:**

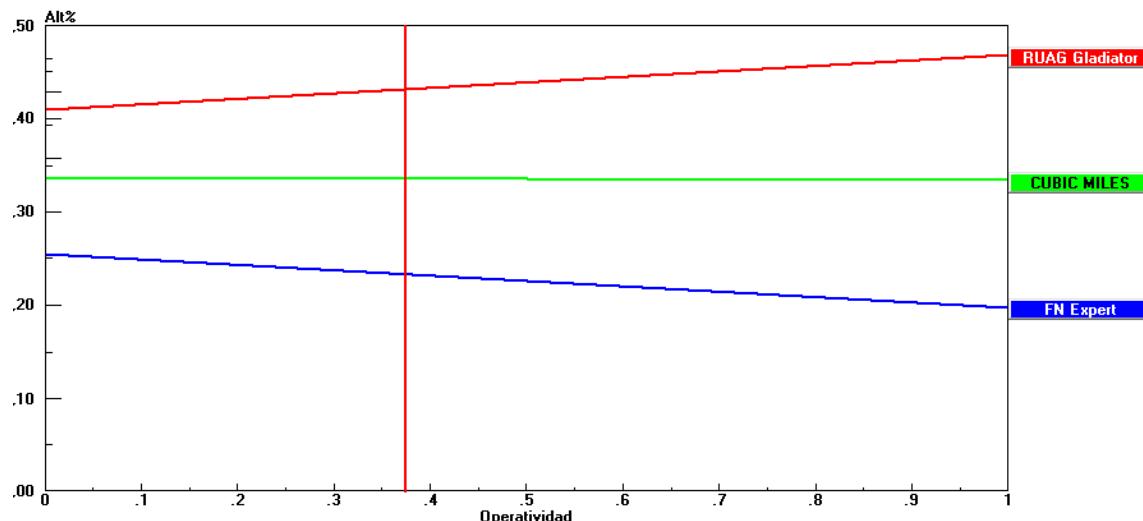


Figura 24: Gráfica de sensibilidad del criterio Operatividad. Expert Choice®

En este gráfico del criterio Operatividad se puede ver que al igual que en el criterio de ligereza, es indiferente el peso de esta característica porque la mejor alternativa será siempre el SDI Gladiator. Este criterio carece de ningún punto crítico a partir del cual cambiaría la preferencia de los sistemas para el problema. Se puede analizar también que a mayor peso de este criterio, mayor será la diferencia de pesos entre el sistema Gladiator y el sistema FN® Expert.



- **Simulación e instrucción:**

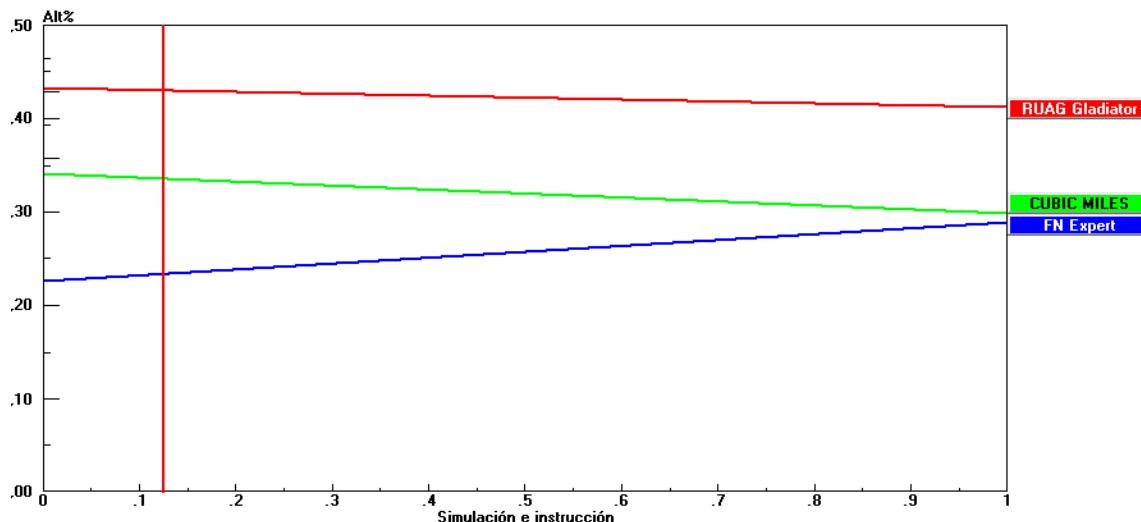


Figura 25: Gráfica de sensibilidad del criterio Simulación e Instrucción. Expert Choice®

Con el criterio de Simulación e Instrucción la gráfica muestra que aunque el peso de esta característica cambie, el orden de elección de las alternativas no varía. Además, apenas cambia el peso de Gladiator frente a un aumento del peso de este criterio. Sin embargo, ante un aumento del peso del criterio se aumentan y disminuyen los pesos del sistema FN® Expert y MILES respectivamente, sin llegar a sobrepasar nunca el primer sistema al segundo.

El software también cuenta con una herramienta capaz de modificar los pesos de los criterios rápidamente sin necesidad de reformular las matrices de comparaciones. Esto facilita probar cambios en los pesos y ver los resultados.

Se han probado diferentes casos, y la única manera en la que el sistema Gladiator deja de ser la mejor alternativa es el momento en el que el peso del criterio Realismo supera el 0,7 como ya se dijo anteriormente, probando así que los únicos puntos donde se pueden producir cambios en el orden de preferencia del problema es en los puntos críticos.

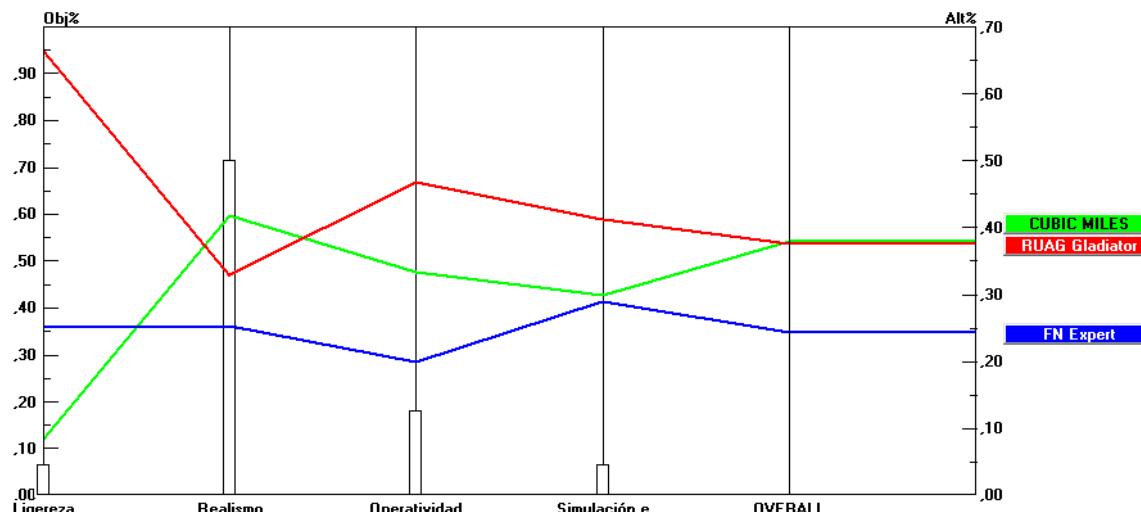


Figura 26: Gráfica de puntuaciones de las alternativas cambiando el peso del criterio Realismo. Expert Choice®

Así mismo, el único momento en el cual el SDI FN® Expert pasa a ser la segunda la segunda mejor opción para el problema es en el momento en el cual el peso del criterio de Ligereza es mayor de 0,45:

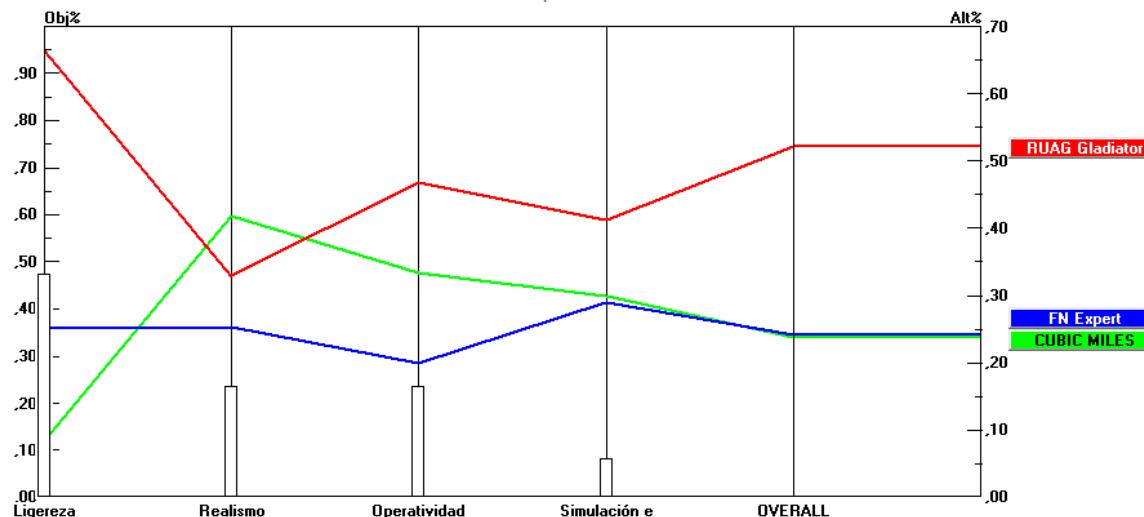


Figura 27: Gráfica de puntuaciones de las alternativas cambiando el peso del criterio Ligereza.
Expert Choice®

Con estos datos se puede afirmar que no hay posibilidad de variar la preferencia final que nos devuelve el problema ante un cambio mínimo de los expertos. Para variar los resultados finales, los cambios en los pesos de los criterios debería ser duplicar el peso del criterio realismo o triplicar el peso del criterio de ligereza.

8. CONCLUSIONES

Durante la realización de las prácticas externas y la ejecución de este trabajo se ha podido confirmar la necesidad de sustituir el actual sistema de simulación de duelo individual que se encuentra en dotación en el ET. Para ello ha sido necesaria la ayuda de un grupo de expertos conocedores del sistema, los cuales han expuesto las carencias y los aspectos positivos del sistema y; posteriormente encontrar las nuevas necesidades a las que se enfrentan las unidades.

A través de entrevistas y encuestas a parte del personal que hace uso de este sistema se ha conseguido determinar las características o aplicaciones con las que debería contar un SDI para satisfacer las necesidades de los planes de instrucción de las unidades y así poder encontrar entre las diferentes alternativas que nos ofrece el mercado actual. La búsqueda dejó un amplio abanico de opciones de múltiples ejércitos y del sector privado. De estas alternativas se tuvo que elegir entre las que más se ajustaban a las necesidades generales. Las alternativas que más se adaptaban a las características buscadas fueron FN® Expert, Gladiator y MILES IWS2.

Con todos estos datos proporcionados por el grupo de expertos y con las alternativas que mejor se ajustaban a las necesidades de la instrucción de las unidades, se ha intentado encontrar la mejor alternativa posible al problema a través de la aplicación del método AHP, el cual intenta resolver el problema de una manera objetiva a través de un método cuantitativo, lo que permite dar una mayor veracidad y fiabilidad a los resultados. Una vez aplicado este método con la ayuda del software Expert Choice® **los resultados fueron que la alternativa que más se adapta a la instrucción de las unidades es el sistema Gladiator de la empresa RUAG**. Este simulador se encuentra ya actualmente en uso en el ejército británico lo que indica que este sistema ya está siendo usado por unidades operativas y su adaptación a nuestro ejército sería mínima. En el caso de que la mejor alternativa hubiera sido un simulador civil, se



hubiera precisado de una adaptación importante a las unidades militares.

Una línea futura a este trabajo sería estudiar la posible adquisición de este sistema para el Ejército de Tierra, ya que una de las limitaciones del trabajo es la falta de información del aspecto económico de los sistemas. Con esta línea se podría ver si es factible la adquisición del sistema o si por el contrario el Ministerio de Defensa prefiere mantener el actual. Otra línea futura podría ser la creación de un sistema de duelo individual que se adapte a todas las características y aplicaciones que según el grupo de expertos debe tener y que han sido estudiadas durante esta memoria.

9. BIBLIOGRAFÍA

Army Recognition (2019). ***Analysis: Modern firing training systems for marksmanship and shooting skills.*** Disponible en:

https://www.armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/analysis/modern_firing_training_systems_for_marksmanship_and_shooting_skills.html [Consultado 16-10-21]

Bravo M. (2019). "La tecnología que tenemos gracias a la Guerra Fría". **Fayer Mayer**. 13 de Febrero. Disponible en: <https://www.fayerwayer.com/2019/02/guerra-fria-tecnologia/> [Consultado 15-12-21].

Bueno Sevilla, F. (1992). **Simulador de combate terrestre**. La Rioja: Dialnet.

Bunes J. y Mendes J. (2019). "SINCOMFAS. Un enfoque para la simulación de duelo". **Boletín de observación tecnológica en defensa**, nº 61, pp. 16-19.

Buría Cuñado, C. (2020). **Sistema de simulación de duelo entidad sección**. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.

Callamanda R.L y Araníbar L.E (2008). **Análisis de requerimientos mediante la aplicación de AHP como base para el desarrollo del diseño conceptual de un buque tipo LCU**. Colombia: COTECMAR

Cox, M. (2021). "Army Wants to Finally Replace Decades-Old MILES Gear for More Realistic Force-on-Force Training". **Military.com**. 18 de marzo de 2021. Disponible en: <https://www.military.com/daily-news/2021/03/18/army-wants-finally-replace-decades-old-miles-gear-more-realistic-force-force-training.html> [Consultado 10-10-21].

CUBIC (2021). **I-MILES IWS2**. Disponible en: <https://www.cubic.com/solutions/training/ground/tactical-engagement-systems/manworn-systems#paragraph-tab-10321-3> [Consultado 20-10-21].

Cuesta, D. (2019). "Intrucción con estrés, avanzando en el realismo de combate". **Memorial de Infantería**, nº79, pp. 44-48

FN Herstal (2021). **FN® Expert**. Disponible en: <https://fnamerica.com/products/marksmanship-training/fn-expert/> [Consultado 12-10-21].

González, N. (2019). **AHP, un método para fortalecer la toma de decisiones en SST**. Disponible en: [AHP: un método para fortalecer la toma de decisiones en SST - PrevenControl](https://www.prevencontrol.com/ahp-un-metodo-para-fortalecer-la-toma-de-decisiones-en-sst/) [Consultado 12-10-21].

Grupo Oesia (2021). **Simuladores de duelo**. Disponible en: [Simuladores de Duelo de](https://www.oesia.com/simuladores-de-duelo/)



Infodefensa.com (2012). **Tecnobit se adjudica un contrato para suministros de equipos de duelo por 1,5 millones.** Infodefensa.com. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3140844/tecnobit-adjudica-contrato-suministro-equipos-duelo-15-millones> [Consultado 20-11-21].

Llamas, J.M. (2018). **La simulación en el ámbito del Ejército de Tierra.** Madrid.

Manrique, J. (2012). "La simulación como herramienta en tiempos de recortes". **Revista Española de Defensa**, nº 283, pp. 8-11.

Ministerio de Defensa (2018). **Jornada tecnológica: simulación en el ámbito de defensa.** Madrid: MINISDEF

Nantes, E.A. (2019). **El método Analytic Hierarchy Process para la toma de decisiones. Repaso de la metodología y aplicaciones.** Argentina. Universidad Nacional del Sur.

Naranjo Saldarriaga, D. (2016). **Análisis del desarrollo de medios de simulación para completar la instrucción real en Infantería.** Trabajo Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.

RHEINMETALL (2022). **Live training. Legatus.** Disponible en: https://www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall_defence/systems_and_products/simulation_and_training/military_training_solutions/army_training/live_training/index.php [Consultado 02-10-21].

RUAG Group (2021). **Live simulation. Gladiator.** Disponible en: <https://www.ruag.com/en/products-services/land/simulation-training/live-simulation> [Consultado 12-10-21].

SAAB (2022). Ground Combat Indoor Trainer. Disponible en: <https://www.saab.com/products/ground-combat-indoor-trainer> [Consultado 02-10-21].

Saiz García, J. (2016). **Maximización en el empleo de simuladores en el Terleg 3.** Trabajo Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.

TECNOBIT (2009). **Manual de mantenimiento. Simulador de Duelo para Combatiente Individual.** Madrid: Grupo Oesia.

TECNOBIT (2010). **Manual de operación. Simulador de Duelo para Combatiente Individual.** Madrid: Grupo Oesia.

TECNOBIT (2013). **Curso de mantenimiento y operación del Simulador de Duelo para Combatiente Individual.** Madrid: Grupo Oesia.

Toscano, G.B. (2005). **El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores.** Tesis doctoral. Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Chile).

US Army (2012). **Performance specification for the Instrumentable-Multiple Integrated Laser Engagement System Individual Weapon System 2 (I-MILES IWS 2).** Orlando. US Army Program Executive Office for Simulation, Training and Instrumentation.

ANEXOS

ANEXO I: EXPLICACIÓN CÁLCULOS METODO AHP

Una vez se obtiene la matriz de comparación de los criterios, la cual tienen que tener la siguiente forma (En este ejemplo solo hay 3 criterios):

Matriz	A_i	A_j	A_k
A_i	1	A_{ij}	A_{ik}
A_j	$1/A_{ij}$	1	A_{jk}
A_k	$1/A_{ik}$	$1/A_{jk}$	1

Figura 28: Matriz ejemplo para explicar los cálculos del método AHP

Nota: En el programa de Expert Choice los números inversos (Ej: 1/3) los genera como números enteros pero en color rojo para diferenciarlo del resto de números de la matriz.

El siguiente paso será realizar un sumatorio de cada columna:

Matriz	A_i	A_j	A_k
A_i	1	A_{ij}	A_{ik}
A_j	$1/A_{ij}$	1	A_{jk}
A_k	$1/A_{ik}$	$1/A_{jk}$	1
ΣR	$\sum R_i$	$\sum R_j$	$\sum R_k$

Figura 29: Matriz ejemplo para explicar los cálculos del método AHP

A continuación se dividirá cada elemento de la matriz entre sumatorio de su columna. Por ejemplo: $A_{ij}/\sum R_i$. Quedando la tabla de la siguiente manera:

Matriz	A_i	A_j	A_k
A_i	$1/\sum R_i$	$A_{ij}/\sum R_j$	$A_{ik}/\sum R_k$
A_j	$1/A_{ij} / \sum R_i$	$1/\sum R_j$	$A_{jk} / \sum R_k$
A_k	$1/A_{ik} / \sum R_i$	$1/A_{jk} / \sum R_j$	$1 / \sum R_k$

Figura 30: Matriz ejemplo para explicar los cálculos del método AHP

Ahora solo quedaría hacer el sumatorio de cada fila. Estos datos saldrán entre 0 y 1. Este vector resultante se llamará el vector de prioridades y nos muestra de manera cuantitativa la preferencia de cada criterio respecto al problema. La fila que mayor número tenga será el criterio que domine respecto a los demás.

Estos cálculos hay que repetirlos para cada matriz de comparación de subcriterios de un mismo criterio y de las matrices de comparación de las alternativas respecto a cada alternativa.

El siguiente paso es hacer un proceso de síntesis para determinar cuál de las alternativas contribuye mejor al logro del objetivo final. Para esto, en primer lugar habría que formar una matriz con todos los vectores de prioridades de las alternativas respecto a los criterios, y multiplicar esta matriz al vector de prioridades de los subcriterios respecto al criterio que los engloba.

CANDIDATOS	VECTOR PRIORIDAD SUBCRITERIO 1	VECTOR PRIORIDAD SUBCRITERIO 2	...	VECTOR PRIORIDAD SUBCRITERIO X	X	VECTOR PRIORIDAD SUBCRITERIO RESPECTO A CRITERIO	II	VECTOR PRIORIDAD DE CADA ALTERNATIVA RESPECTO AL CRITERIO
CANDIDATO1								
CANDIDATO2								
CANDIDATO3								

Figura 31: Explicación de la multiplicación de matriz y vectores de prioridad del método AHP

Una vez obtenemos todos los vectores de prioridad de cada alternativa respecto al criterio, los englobamos en una matriz y los multiplicamos al vector de prioridad de criterios respecto al objetivo, resultando el vector de prioridad de cada alternativa respecto al objetivo.

Con este resultado final ya obtenemos que alternativa es la que mejor se adapta al problema que inicialmente teníamos.

ANEXO II: ENTREVISTA EXPERTOS MODELO ENTREVISTA

NOMBRE:

EMPLEO:

P1: Del 1 al 10, ¿Cuánto conocimiento tiene sobre el Sistema de Duelo Individual de la empresa Tecnabit?

R1:

P2: ¿Cuál cree que son los puntos positivos del actual sistema?

R2:

P3: ¿Cuál cree que son los puntos negativos o puntos a mejorar del sistema?

R3:

P4: Si usted pudiese añadir nuevas características o nuevas aplicaciones al sistema.

¿Cuál/es serían?

R4:

P5: Cuando obtiene el feedback de las unidades que acaban de usar el sistema, ¿Ese feedback es positivo o negativo? ¿Qué aspectos resaltan?

R5:

P6: ¿Cree que el sistema actual de dotación es el mejor para las unidades? ¿Cree que se podría mejorar? ¿Por qué?

R6:

P7: Si usted tuviese la oportunidad de elegir quedarse con el actual sistema o buscar nuevas alternativas. ¿Qué haría?

R7:

P8: ¿Conoce otros sistemas de duelo individual en el ámbito civil o de otros ejércitos?

¿Cuáles?

R8:

P9: (En caso de conocer otros sistemas de duelo) ¿Lo cambiaría por el actual sistema o se quedaría con el actual?

R9:

ENTREVISTA 1

NOMBRE: Andrés López Dueso

EMPLEO: Cabo 1º (Jefe unidad de simulación)

P1: Del 1 al 10, ¿Cuánto conocimiento tiene sobre el Sistema de Duelo Individual de la empresa Tecnabit?

R1: Considero que tengo un conocimiento de 8 dado los años que llevo siendo responsable de esta unidad

P2: ¿Cuál cree que son los puntos positivos del actual sistema?

R2: La fiabilidad del sistema, pocas son las veces que me han devuelto un sistema defectuoso o roto. Además destacaría su larga duración de batería, ya que aguanta los ejercicios de unas maniobras de 5 días sin necesidad de ser cargados.

P3: ¿Cuál cree que son los puntos negativos o puntos a mejorar del sistema?

R3: La poca precisión que puede llegar a tener el sistema, ya que el arco de onda puede llegar a incidir sobre dos enemigos. Además el sistema cuenta con una mochila con localizador GPS, quizás el sistema debería tener la capacidad de incorporar GPS sin necesidad de llevar esa mochila.

P4: Si usted pudiese añadir nuevas características o nuevas aplicaciones al sistema.

¿Cuál/es serían?

R4: Lo que acabo de decir del localizador GPS o quizás elementos de simulación como granadas que permitan una instrucción más realista. También un aspecto positivo podría ser tener la capacidad de instalar el sistema en los raíles Picatinny del fusil.

P5: Cuando obtiene el feedback de las unidades que acaban de usar el sistema, ¿Ese feedback es positivo o negativo? ¿Qué aspectos resaltan?

R5: Hay opiniones de todo tipo. Por lo general las unidades tienen una visión positiva ya que este sistema permite seguir mejorando en la instrucción, sin embargo, resaltan puntos a mejorar como la precisión del láser o la lentitud en el montaje del sistema, que incluye la instalación del sistema y la posterior homogenización

P6: ¿Cree que el sistema actual de dotación es el mejor para las unidades? ¿Cree que se podría mejorar? ¿Por qué?

R6: Creo que el sistema está bien pero que tiene mucha capacidad de mejora para mejorar la instrucción de las unidades. Mejoraría todos los aspectos que ya he resaltado.

P7: Si usted tuviese la oportunidad de elegir quedarse con el actual sistema o buscar nuevas alternativas. ¿Qué haría?

R7: Quizás buscaría un sistema mejor, más completo que el actual

P8: ¿Conoce otros sistemas de duelo individual en el ámbito civil o de otros ejércitos? ¿Cuáles?

R8: Conozco el sistema MILES IWS2 que es usado por el ejército americano el cual muy parecido al nuestro pero con una versión mejorada.

P9: (En caso de conocer otros sistemas de duelo) ¿Lo cambiaría por el actual sistema o

se quedaría con el actual?

R9: Seguramente lo cambiaría por el sistema americano.

ENTREVISTA 2

NOMBRE: Sergio Parada Sancho

EMPLEO: Sargento

P1: Del 1 al 10, ¿Cuánto conocimiento tiene sobre el Sistema de Duelo Individual de la empresa Tecnabit?

R1: Un 7, fui hace dos años a un curso de actualización de este sistema y aprendí bastante.

P2: ¿Cuál cree que son los puntos positivos del actual sistema?

R2: Destacaría la capacidad de usarse tanto para realizar ejercicios a campo abierto como en interiores o espacios subterráneos. Otro punto a destacar es la duración de su batería para ejercicios tipo ALFA (ejercicios de entre 5 y 7 días)

P3: ¿Cuál cree que son los puntos negativos o puntos a mejorar del sistema?

R3: Quizá la precisión, yo personalmente en un ejercicio en una ocasión “maté” a 3 enemigos que estaban muy juntos, el arco de onda le llegó a los tres.

P4: Si usted pudiese añadir nuevas características o nuevas aplicaciones al sistema.

¿Cuál/es serían?

R4: Quizá tener la capacidad de poder usar objetivos pasivos como dianas o muñecos para conocer la eficacia de los tiradores sin tener la necesidad de tener simulación de enemigo.

P5: Cuando obtiene el feedback de las unidades que acaban de usar el sistema, ¿Ese feedback es positivo o negativo? ¿Qué aspectos resaltan?

R5: Desconozco las opiniones del resto de unidades ya que yo no me encuentro en la unidad de simulación, pero puedo decir que la opinión en mi compañía es de una gran capacidad de mejora.

P6: ¿Cree que el sistema actual de dotación es el mejor para las unidades? ¿Cree que se podría mejorar? ¿Por qué?

R6: No, es un sistema desactualizado para la tecnología que hay hoy en día. Mejora las capacidades de instrucción de las unidades pero lo podría mejorar

P7: Si usted tuviese la oportunidad de elegir quedarse con el actual sistema o buscar nuevas alternativas. ¿Qué haría?

R7: Buscar un sistema mejor, tanto uno que se encuentre en el mercado civil como uno que ya esté implantado en otros ejércitos

P8: ¿Conoce otros sistemas de duelo individual en el ámbito civil o de otros ejércitos?

¿Cuáles?

R8: Conozco varios sistemas que se encuentran en ejércitos de la OTAN como el Legatus, Gladiator o los de la familia MILES en todas sus versiones.

P9: (En caso de conocer otros sistemas de duelo) ¿Lo cambiaría por el actual sistema o se quedaría con el actual?

R9: Sin duda lo cambiaría. Todo lo que sea mejorar en la instrucción es bien recibido.

ANEXO III: ENCUESTA

<u>NOMBRE DEL ENCUESTADO</u>	<u>EMPLEO</u>
<p>Esta encuesta lo que busca es valorar la importancia que le da la Tropa y los CUMAS a las diferentes características con las que cuentan los sistemas de duelo que utilizan para entrenar a las unidades de infantería. Es una valoración a nivel personal.</p>	
Valorar del 1 al 10 la importancia que se le da a estos criterios para un Sistema de Duelo Individual	1 a 10
Distancia/rango máximo de alcance del sistema	
Ligereza del sistema instalado en fusil	
Ligereza del sistema instalado en chaleco/cuerpo y casco	
Posibilidad de contar con localizador GPS	
Opción de uso de fogueo para dar mayor realismo al sistema	
Rapidez en el montaje del sistema	
Fiabilidad en la precisión del laser/sistema	
Posibilidad de medir agrupación de disparos	
Posibilidad de usar en cualquier lugar sin necesidad de usar estaciones de apoyo o sistemas Bluetooth	
Posibilidad de uso en interiores y exteriores	
Posibilidad de incorporar objetivos pasivos o activos	
Posibilidad de usar el mismo sistema en diferentes fusiles o ametralladoras	
Posibilidad de tener un lector digital para evaluar que método de primeros auxilios usar a la persona "herida"	
Posibilidad de tener todos los datos del sistema en tiempo real (disparos efectuados, efectividad, posición gps...)	
Posibilidad de simular los efectos de IED, granadas y lanzagranadas dentro del sistema	
Autonomía (Duración baterías)	

Figura 32: Modelo de la encuesta realizada

ANEXO IV: ALTERNATIVAS

FN® EXPERT

El sistema FN® Expert de una empresa belga de ámbito civil llamada FN Herstal. Aunque su uso actualmente está asociado al mundo civil, la gran mayoría de sus usuarios es personal militar que busca una mejora en su habilidad de disparo. Aunque este sistema está pensado para la mejora de la habilidad de tiro, también se puede usar para entrenar ejercicios de duelo, que consisten en tener dos bandos que pueden hacer ejercicios simulando disparos entre ellos gracias a este sistema de láseres y sensores. Este sistema destaca por su precisión y la capacidad de evaluar los disparos y mejorar las habilidades del usuario.

Sus características son las siguientes:

- Duración de la batería: 48 horas.
- Peso total del sistema (incluido sensores): 1,2 kg.
- Tiene un rango de uso de entre 5 y 300 metros.
- Instalación y calibrado de aproximadamente 3 minutos.
- Uso en diferente armamento como fusiles, pistolas o fusiles de precisión.
- Capacidad de obtener datos de los tiradores en tiempo real.
- Capacidad de evaluar todo el proceso de disparo.



Figura 33: Sistema láser de FN® Expert.

Fuente: [FN Herstal \(2021\)](#)



Figura 34: Sistema FN Expert durante un ejercicio.

Fuente: [Army Recognition \(2019\)](#)

RUAG GLADIATOR

El sistema Gladiator pertenece a una empresa Suiza, la cual tiene un contrato con el ejército de Reino Unido el cual proporciona a todas sus unidades de este sistema desde 2020. Tiene la misma base que el sistema de duelo español aunque totalmente renovado y actualizado a las características y necesidades del ejército británico, uno de los ejércitos más punteros del mundo. Se caracteriza por sus múltiples capacidades como un lector digital que permite conocer donde ha sido “herida” la baja, la capacidad de poder integrarse con otros sistema de duelo o poder usar otro tipo de simulación como granadas, trampas o IED.



Figura 35: Elementos del sistema Gladiator.

Fuente: [RUAG Group \(2021\)](#)

Sus características son las siguientes:

- Duración de la batería: 120 horas.
- Peso total del sistema :1,2 kg.
- Tiene un rango de uso de entre 3 y 400 metros.
- Instalación y calibrado de aproximadamente 6 minutos.
- Uso en diferente armamento como fusiles, ametralladoras o fusiles de precisión.
- Capacidad de usar fogueo para simular los disparos.
- Lector digital de primeros auxilios, con los que se puede conocer donde ha sido alcanzado el usuario.

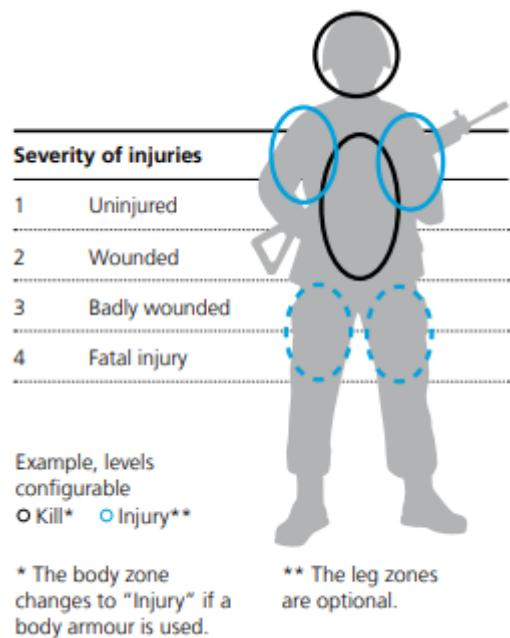


Figura 36: Gráfico de daños para el sistema Gladiator.
 Fuente: [RUAG Group \(2021\)](#)

- El sistema cuenta con un localizador GPS.
- El sistema es compatible con el uso de granadas, trampas e IED.

CUBIC MILES IWS2

Sistema americano de la empresa CUBIC, la cual trabaja para el ejército de los Estados Unidos de America. Esta empresa se encarga de los sistemas de duelo individual desde principio de los años 2000, siendo uno de los pioneros en sistemas de este tipo. El SDI que tenemos actualmente en dotación se ha basado en la familia MILES para su creación. Desde 2016 la versión IWS2 se encuentra en dotación del ejército americano. Se caracteriza por su unidad de control, la cual permite conocer si el usuario ha sido alcanzado por un láser enemigo y conocer donde se ha producido ese “disparo”. Además cuenta con un gran rango y alcance de entre 5 y 550 metros.



Figura 37: Sistema MILES IWS2 durante un ejercicio.

Fuente: [CUBIC \(2021\)](#)

Sus características son las siguientes:

- Duración de la batería: 96 horas.
- Peso total del sistema: 1,6 kg.
- Tiene un rango de uso de entre 5 y 550 metros.
- Instalación y calibrado de aproximadamente 6 minutos.
- Uso en diferente armamento como fusiles, ametralladoras o fusiles de precisión.
- Capacidad de usar fogueo para simular los disparos.
- Lector digital de primeros auxilios, con los que se puede conocer donde ha sido alcanzado el usuario.
- El sistema cuenta con un localizador GPS.
- Interoperable con otros sistemas de duelo, tanto individuales como de vehículos.

RESUMEN ALTERNATIVAS

Tabla 4: Resumen de las características de las tres alternativas

Propiedades/Alternativas	FN® Expert	Gladiator	MILES IWS 2
Batería*	2600 mAh (48 horas)	3000 mAh (120 horas)	2500 mAh (96 horas)
Peso sistema fusil	375 gramos	200 gramos	450 gramos
Peso sistema chaleco	700 gramos	975 gramos	1230 gramos
Rango/alcance máximo	300 metros	400 metros	550 metros
Posibilidad uso fogueo	NO	SI	SI
Fiabilidad/precisión	40 mrad	65 mrad	82 mrad
Tiempo montaje sistema	3-4 minutos	5-7 minutos	5-6 minutos
Sistema inalámbrico/ No Bluetooth	SI(limitaciones)	SI	SI
Uso en interiores/exteriores	SI(limitaciones)	SI	SI
Uso en diferente armamento	SI	SI	SI
Objetivos pasivos/activos	SI	NO	NO
Lector digital primeros auxilios	NO	SI	SI
Datos sistema tiempo real	SI	NO	NO
Simulación granadas, IED, etc.	NO	SI	NO
Medición agrupación disparos	SI	NO	NO
Localizador GPS	NO	SI	SI

*Aunque puede parecer contradictorio que teniendo más capacidad de batería tenga menos autonomía, hay que tener en cuenta que la energía que usa el sistema cada hora puede ser distinta

ANEXO V: MATRICES DE COMPARACIÓN Y PESOS DE LOS CRITERIOS, SUBCRITERIOS Y ALTERNATIVAS

Todas las matrices y tablas que se muestran a continuación han sido generadas por el programa de Expert Choice® una vez añadidos todos los datos y cálculos previos que se han hecho manualmente.

MATRICES DE COMPARACIÓN

- MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE CRITERIOS:**

Ligereza (L: 1,000)	Ligereza (L: 1,000)	Realismo	Operatividad	Simulación
Realismo		3,0	3,0	1,0
Operatividad			1,0	3,0
Simulación e instrucción				3,0

Incon: 0,00

Figura 38: Matriz de comparación entre criterios. Expert Choice®.

- MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LOS SUBCRITERIOS DEL CRITERIO LIGEREZA:**

Ligereza sistema en fusil (L: 1,000)	Ligereza sistema en fusil (L: 1,000)	Ligereza sistema
Ligereza sistema en cuerpo		7,0

Incon: 0,00

Figura 39: Matriz de comparación entre los subcriterios del criterio ligereza. Expert Choice®.

- MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LOS SUBCRITERIOS DEL CRITERIO REALISMO:**

Distancia/Rango máximo (L: 1,000)	Distancia/Rango máximo (L: 1,000)	Uso foguero	Precisión
Uso foguero		1,0	1,0
Precisión			1,0

Incon: 0,00

Figura 40: Matriz de comparación entre los subcriterios del criterio Realismo. Expert Choice®.

- MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LOS SUBCRITERIOS DEL CRITERIO OPERATIVIDAD:**

Rapidez montaje sistema (L: 1,000)	Rapidez montaje sistema (L: 1,000)	Inhalámbri	Uso interior	Autonomía	Uso en dif.
Inhalámbri/Bluetooth		1,0	1,0	3,0	1,0
Uso interiores/exteriores			1,0	3,0	1,0
Autonomía				3,0	1,0
Uso en diferentes armas					3,0

Incon: 0,00

Figura 41: Matriz de comparación entre los subcriterios del criterio Operatividad. Expert Choice®.

- MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LOS SUBCRITERIOS DEL CRITERIO SIMULACIÓN E INSTRUCCIÓN:**

Objetivos activos/pasivos	Objetivos activos/pasivos	Lector digital	Datos en tiempo real	Simulación	Medición a distancia	Localizado
				3,0	3,0	1,0
					1,0	3,0
					3,0	1,0
						3,0

Incon: 0,02

Figura 42: Matriz de comparación entre los subcriterios del criterio Simulación e Instrucción. Expert Choice®.

- MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO LIGEREZA EN EL SISTEMA DEL FUSIL:**

FN Expert	FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
RUAG Gladiator		5,0	3,0
CUBIC MILES			7,0

Incon: 0,06

Figura 43: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio ligereza en el sistema del fusil. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO LIGEREZA EN EL SISTEMA EN EL CUERPO:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	3,0	5,0
RUAG Gladiator		3,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,04		

Figura 44: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio ligereza en el sistema del cuerpo. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO DISTANCIA/RANGO MÁXIMO:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	3,0	5,0
RUAG Gladiator		3,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,04		

Figura 45: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Distancia/Rango Máximo. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO USO DE FOGUEO:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	9,0	9,0
RUAG Gladiator		1,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,00		

Figura 46: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Uso de fogueo. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO PRECISIÓN:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	5,0	7,0
RUAG Gladiator		3,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,06		

Figura 47: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Precisión. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO RAPIDEZ MONTAJE DEL SISTEMA:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	3,0	3,0
RUAG Gladiator		1,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,00		

Figura 48: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Rapidez montaje del sistema. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO INALÁMBRICO/BLUETOOTH:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	5,0	5,0
RUAG Gladiator		1,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,00		

Figura 49: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Inalámbrico/Bluetooth. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO USO INTERIORES/EXTERIORES:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	5,0	5,0
RUAG Gladiator		1,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,00		

Figura 50: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Uso interiores/exteriores. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO AUTONOMÍA:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	9,0	5,0
RUAG Gladiator		3,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,03		

Figura 51: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Autonomía. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO USO EN DIFERENTES ARMAS:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	1,0	1,0
RUAG Gladiator		1,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,00		

Figura 52: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Uso en diferentes armas. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO OBJETIVOS ACTIVOS/PASIVOS:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	9,0	9,0
RUAG Gladiator		1,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,00		

Figura 53: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Objetivos activos/pasivos. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO LECTOR DIGITAL:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	9,0	9,0
RUAG Gladiator		1,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,00		

Figura 54: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Lector digital. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO DATOS EN TIEMPO REAL:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	9,0	9,0
RUAG Gladiator		1,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,00		

Figura 55: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Datos en tiempo real. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO SIMULACION IED Y GRANADAS:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	9,0	1,0
RUAG Gladiator		9,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,00		

Figura 56: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Simulación IED y granadas. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO MEDICION AGRUPACION DISPAROS:**

FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert	9,0	9,0
RUAG Gladiator		1,0
CUBIC MILES		
Incon: 0,00		

Figura 57: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Medición agrupación disparos. Expert Choice®.

- **MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DEL SUBCRITERIO LOCALIZADOR GPS:**

	FN Expert	RUAG Glad	CUBIC MIL
FN Expert		9,0	9,0
RUAG Gladiator			1,0
CUBIC MILES			
Incon: 0,00			

Figura 58: Matriz de comparación entre las alternativas del subcriterio Localizador GPS. Expert Choice®.

PESO DE LOS CRITERIOS EN EL PROBLEMA

En la siguiente tabla se representa el peso de la importancia de los criterios sobre el problema que tenemos:

Ligereza	,125
Realismo	,375
Operatividad	,375
Simulación e instrucción	,125

Figura 59: Peso de los criterios para el problema. Expert Choice®.

Se puede observar que los pesos de Realismo y Operatividad es 3 veces mayor que los criterios de Ligereza y; Simulación y Realismo. Esto quiere decir que los expertos ven el triple de importante a los primeros criterios sobre los segundos.

PESO DE LOS SUBCRITERIOS DENTRO DE CADA CRITERIO

En las siguientes tablas se representan los pesos de cada subcriterio dentro de cada criterio del problema:

- **LIGEREZA:**

Ligereza sistema en fusil	,875
Ligereza sistema en cuerpo	,125

Figura 60: Peso de los subcriterios para el criterio Ligereza. Expert Choice®.

- **REALISMO:**

Distancia/Rango máximo	,333
Uso fogueo	,333
Precisión	,333

Figura 61: Peso de los subcriterio para el criterio Realismo. Expert Choice®.

- **OPERATIVIDAD:**

Rapidez montaje sistema	,143
Inhalámbrico/Bluetooth	,143
Uso interiores/exteriores	,143
Autonomía	,429
Uso en diferentes armas	,143

Figura 62: Peso de los subcriterio para el criterio Operatividad. Expert Choice®.

- **SIMULACIÓN E INSTRUCCIÓN:**

Objetivos activos/pasivos	,238
Lector digital	,079
Datos en tiempo real	,079
Simulación IED y granadas	,203
Medición agrupación de disparos	,072
Localizador GPS	,328

Figura 63: Peso de los subcriterio para el criterio Simulación e Instrucción. Expert Choice®.

PESO DE LAS ALTERNATIVAS DENTRO DE CADA SUBCRITERIO

En las siguientes tablas se representan los pesos de cada alternativa dentro de cada subcriterio. Estos datos son calculados gracias a las matrices de comparación entre las alternativas para cada subcriterio.

- **SUBCRITERIO LIGEREZA EN EL SISTEMA DEL FUSIL:**

FN Expert	,188
RUAG Gladiator	,731
CUBIC MILES	,081

Figura 64: Peso de las alternativas para el subcriterio Ligereza en el sistema del fusil. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO LIGEREZA EN EL SISTEMA EN EL CUERPO:**

FN Expert	,637
RUAG Gladiator	,258
CUBIC MILES	,105

Figura 65: Peso de las alternativas para el subcriterio Ligereza en el sistema en el cuerpo. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO DISTANCIA/RANGO MÁXIMO:**

FN Expert	,105
RUAG Gladiator	,258
CUBIC MILES	,637

Figura 66: Peso de las alternativas para el subcriterio Distancia/Rango máximo. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO USO DE FOGUEO:**

FN Expert	.053
RUAG Gladiator	.474
CUBIC MILES	.474

Figura 67: Peso de las alternativas para el subcriterio Ligereza Uso de fogueo. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO PRECISIÓN:**

FN Expert	.731
RUAG Gladiator	.188
CUBIC MILES	.081

Figura 68: Peso de las alternativas para el subcriterio Precisión. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO RAPIDEZ EN EL MONTAJE DEL SISTEMA:**

FN Expert	.600
RUAG Gladiator	.200
CUBIC MILES	.200

Figura 69: Peso de las alternativas para el subcriterio Rapidezz en el montaje del sistema. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO INALAMBRICO/BLUETOOTH:**

FN Expert	.091
RUAG Gladiator	.455
CUBIC MILES	.455

Figura 70: Peso de las alternativas para el subcriterio Inalámbrico/Bluetooth. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO USO DE INTERIORES/EXTERIORES:**

FN Expert	.091
RUAG Gladiator	.455
CUBIC MILES	.455

Figura 71: Peso de las alternativas para el subcriterio Uso de interiores/exteriores. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO AUTONOMÍA:**

FN Expert	.063
RUAG Gladiator	.672
CUBIC MILES	.265

Figura 72: Peso de las alternativas para el subcriterio Autonomía. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO USO EN DIFERENTES ARMAS:**

FN Expert	.333
RUAG Gladiator	.333
CUBIC MILES	.333

Figura 73: Peso de las alternativas para el subcriterio Uso en diferentes armas. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO OBJETIVOS ACTIVOS/PASIVOS:**

FN Expert	.818
RUAG Gladiator	.091
CUBIC MILES	.091

Figura 74: Peso de las alternativas para el subcriterio Objetivos activos/pasivos. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO LECTOR DIGITAL:**

FN Expert	.053
RUAG Gladiator	.474
CUBIC MILES	.474

Figura 75: Peso de las alternativas para el subcriterio Lector digital. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO DATOS EN TIEMPO REAL:**

FN Expert	.818
RUAG Gladiator	.091
CUBIC MILES	.091

Figura 76: Peso de las alternativas para el subcriterio Datos en tiempo real. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO SIMULACION IED Y GRANADAS:**

FN Expert	.091
RUAG Gladiator	.818
CUBIC MILES	.091

Figura 77: Peso de las alternativas para el subcriterio Simulación IED y Granadas. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO MEDICION AGRUPACION DE DISPAROS:**

FN Expert	.818
RUAG Gladiator	.091
CUBIC MILES	.091

Figura 78: Peso de las alternativas para el subcriterio Agrupación de disparos. Expert Choice®.

- **SUBCRITERIO LOCALIZADOR GPS:**

FN Expert	.053
RUAG Gladiator	.474
CUBIC MILES	.474

Figura 79: Peso de las alternativas para el subcriterio Localizador GPS. Expert Choice®.

PESO DE LAS ALTERNATIVAS DENTRO DE CADA CRITERIO

En las siguientes tablas se representan los pesos de cada alternativa dentro de cada criterio. Estos datos son calculados gracias a los pesos que tienen las alternativas dentro de cada subcriterio y el peso de cada subcriterio dentro de cada criterio.

- **CRITERIO LIGEREZA:**

FN Expert	.252
RUAG Gladiator	.664
CUBIC MILES	.084

Figura 80: Peso de las alternativas para el criterio Ligereza. Expert Choice®.

- CRITERIO REALISMO:

FN Expert	.253
RUAG Gladiator	.329
CUBIC MILES	.418

Figura 81: Peso de las alternativas para el criterio Realismo. Expert Choice®.

- CRITERIO OPERATIVIDAD:

FN Expert	.198
RUAG Gladiator	.468
CUBIC MILES	.334

Figura 82: Peso de las alternativas para el criterio Operatividad. Expert Choice®.

- CRITERIO SIMULACIÓN E INSTRUCCIÓN:

FN Expert	.289
RUAG Gladiator	.412
CUBIC MILES	.299

Figura 83: Peso de las alternativas para el criterio Simulación e Instrucción. Expert Choice®.

PESO DE LAS ALTERNATIVAS DENTRO DEL PROBLEMA

En la siguiente tabla se representan el peso de cada alternativa dentro del problema. Estos datos son calculados gracias a los pesos que tienen las alternativas dentro de cada criterio y el peso de cada criterio dentro del problema:

FN Expert	.234
RUAG Gladiator	.431
CUBIC MILES	.335

Figura 84: Peso de las alternativas para el problema. Expert Choice®.