



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

SUSTITUCIÓN DE LA ARTILLERÍA AUTOPROPULSADA M109 A5E PARA EL FUTURO

NICOLÁS MARTÍN-PORTUGUÉS MENDOZA

Director académico: D. Iván Cristóbal Montreal

Director militar: Tte. D. Jorge Mateos Alejandro

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2022



Agradecimientos

Quiero agradecer al GACA XI, en particular a la batería de plana, el apoyo recibido durante mi estancia en las prácticas. Su aportación ha sido fundamental para adquirir nuevos conocimientos de la especialidad fundamental de artillería y para completar el trabajo. Agradecer al Teniente D. Jorge Mateos Alejandre, director militar de mi TFG cuyo apoyo, ejemplaridad y ayuda durante el periodo de realización de las PEXT ha sido imprescindible.

Agradecerle a mi director académico D. Iván Cristóbal Monreal, director académico del TFG, por su constante disponibilidad y preocupación por la realización del trabajo, sin la cual no habría sido posible realizarlo.

Por último, agradecer a mi familia y compañeros que me han acompañado durante estos cinco años de formación, por su preocupación y los ánimos recibidos en todo momento.





RESUMEN

La evolución de la artillería que ha experimentado el mundo durante el inicio del siglo XXI se ha visto reflejada en los escenarios de conflicto que hay actualmente. La guerra de Ucrania que se inició a principios de 2022 muestra la necesidad de tener una artillería moderna con capacidades tácticas y operativas que afronten los escenarios de conflicto actuales.

Las unidades de artillería de campaña (ACA), se caracterizan por ofrecer apoyo y protección a las demás fuerzas terrestres. Para el desarrollo de estos cometidos, es necesario un material autopropulsado moderno y tecnológicamente avanzado.

En el presente trabajo se analiza en profundidad el obús ATP M109 A5E, y se ha realizado un estudio dirigido a sustituir este material autopropulsado en las unidades de ACA. Los problemas y las capacidades perdidas con el paso del tiempo han sido expuestas con el fin de estudiar varios sistemas de armas competentes frente a dichos problemas. En el trabajo se han expuesto cinco posibles candidatos para sustituir al antiguo obús M109, dándose a conocer todas sus posibilidades y características más relevantes que demanda una batería ATP actualmente.

Para llevar a cabo dicho estudio, se han empleado varias metodologías cuantitativas (metodología AHP, análisis de sensibilidad, análisis DAFO) y cualitativas (entrevistas y encuestas), para lograr el objetivo de este trabajo. Durante la realización del trabajo, se ha contado con la colaboración de expertos pertenecientes al GACA XI, respondiendo varios cuestionarios para poder realizar la metodología AHP correctamente. Con el análisis de sensibilidad, se ha reafirmado la solución final llevándose a cabo pequeñas variaciones en el método AHP previamente realizado. Por último, el análisis DAFO ha permitido conocer en profundidad el sistema de armas que ha resultado el más apropiado para llevar a cabo dicha sustitución del obús actual.

La solución ha sido que, entre los obuses existentes analizados, el Panzerhaubitze 2000 es el obús autopropulsado más apropiado para su empleo en las operaciones que desempeña la ACA. Su gran potencia de fuego y movilidad otorgan al obús una clara ventaja frente a otros actuales. Sin embargo, no hay que obviar la posibilidad de adquirir otro obús, fruto de las variaciones realizadas en el análisis de sensibilidad.

Palabras clave

Artillería autopropulsada, M-109 A5E, sistemas de armas, necesidades futuras.



ABSTRACT

The evolution of artillery experienced by the world at the beginning of the twenty-first century has been reflected in the current conflict scenarios. The war in Ukraine, that began in early 2022, shows the need for modern artillery with tactical and operational capabilities to face the current conflict scenarios.

Field artillery units are characterized by providing support and protection to other ground forces. Modern and technologically advanced self-propelled material is needed to carry out these tasks.

In the present work, the ATP M109 A5E shell is analyzed in depth, in which a study was conducted to perform a replacement of the self-propelled material in ACA units. The problems and capabilities lost over time have been exposed in order to study various competent weapons systems in the face of such problems. In the work, five possible candidates have been exposed to replace the old M109 howitzer, revealing all its possibilities and most relevant characteristics that an ATP battery currently demands.

To carry out this study, several quantitative methodologies (AHP methodology, sensitivity analysis, SWOT analysis) and qualitative (interviews and surveys) have been used to achieve the objective of this work. During the realization of the work, there has been the collaboration of experts belonging to GACA XI, answering several questionnaires to be able to carry out the AHP methodology correctly. With the sensitivity analysis, the final solution has been reaffirmed, carrying out small variations in the AHP method previously carried out. Finally, the SWOT analysis has allowed us to know in depth the weapon system that has been the most appropriate to carry out said replacement of the current howitzer.

The solution has been that, among the existing shells analyzed, the Panzerhaubitze 2000 is the most characterized self-propelled howitzer for use in operations performed by the ACA. Its great firepower and mobility give the howitzer a clear advantage over other current. However, we should not overlook the possibility of acquiring another shell, as a result of the variations made in the sensitivity analysis.

KEYWORDS

Self-propelled artillery, M-109 A5E, weapon systems, future needs.



ÍNDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos	I
RESUMEN.....	III
Palabras clave	III
ABSTRACT	IV
KEYWORDS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	X
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Motivación	1
1.2 Ámbito de aplicación y justificación del proyecto	2
1.3 Estructura de la memoria	2
2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	3
2.1 Objetivos y alcance	3
2.2 Metodología	3
3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.....	4
3.1 Artillería autopropulsada.....	4
3.2 Antecedentes	5
3.2.1 Evolución M-109	5
3.3 Misiones en el exterior	7
4 USO DEL ATP M-109 A5E PARA EL FUTURO.....	7
4.1 Descripción del ATP M-109 A5E	7
4.2 Problemática actual y futuros escenarios	8



4.3	Obtención de nuevo material ATP	9
5.	<i>DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA AHP</i>	13
5.1	Metodología multicriterio AHP	13
5.2	Aplicación de la metodología AHP	15
5.2.1	Primera etapa: Representación del Problema	15
5.2.2	Segunda etapa: Evaluación de los criterios de valoración	18
5.2.3	Tercera etapa: Evaluación de las alternativas.....	22
5.2.4	Cuarta etapa: Jerarquización de las alternativas	27
5.3	Análisis de sensibilidad	30
5.4	Análisis DAFO del sistema de armas elegido.....	32
6	CONCLUSIONES.....	34
7.	<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</i>	35
ANEXOS.....		37
Anexo I: Operadores del obús M109.....		38
Anexo II: Características técnicas del ATP M109 A5E		40
Anexo III: Características técnicas de los participantes en la metodología AHP.		41
Anexo IV: Encuesta para la elección de criterios y subcriterios.		46
Anexo V: Encuestas de asignación de pesos a los criterios y subcriterios.		49
Anexo VI: Encuestas de evaluación de las alternativas		51



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Obús autopropulsado CAESER 8X8 realizando un ejercicio de fuego real. Fuente: Nexter Systems	1
Figura 2. Obús remolcado Light Gun. Fuente: Defensa.gob.es	4
Figura 3. Obús M109 A5E disparando munición base bleed. Fuente: Elaboración propia	5
Figura 4. Primera versión M109 en Vietnam. Fuente: Corpo	6
Figura 5. ATP M109 A5E en Letonia. Fuente: Infodefensa	7
Figura 6. ATP M109 A5E disparando munición base bleed. Fuente: Elaboración propia	8
Figura 7. Obús AGM DONAR. Fuente: KMW	9
Figura 8. Obús Panzerhaubitze 2000. Fuente: KMW	10
Figura 9. Obús ATP M109 A7. Fuente: BAE System	11
Figura 10. Obús francés CAESAR 8X8. Fuente: Nexter Systems	12
Figura 11. Obús RCH 155. Fuente: KMW	12
Figura 12. Árbol de niveles. Fuente: Academia de Logística	13
<i>Figura 13. Escala de Saaty. Fuente: Academia de Logística</i>	13
Figura 14. Matriz de decisión. Fuente: Academia de Logística	14
Figura 15. Encuesta para la selección de criterios y obuses. Fuente: Elaboración propia	15
Figura 16. Árbol de jerarquías. Fuente: Elaboración propia	17
Figura 17. Captura de la primera etapa. Fuente: Software Expert Choice 11	17
Figura 18. Captura de la media sobre las ponderaciones de los criterios. Fuente: Expert Choice 11	18
Figura 19. Porcentajes resultantes de los criterios. Fuente: Expert Choice 11.	18
Figura 20. Media de las ponderaciones de los subcriterios de características de combate. Fuente: Expert Choice 11.	19
Figura 21. Porcentajes de los subcriterios. Fuente: Expert Choice 11.	20
Figura 22. Media de las ponderaciones de los subcriterios de movilidad. Fuente: Expert Choice 11.	20
Figura 23. Porcentajes de subcriterios. Fuente: Expert Choice 11	21
Figura 24. Media de los subcriterios de apoyo logístico. Fuente: Expert Choice 11.	22
Figura 25. Porcentajes de los subcriterios de apoyo logístico. Fuente: Expert Choice 11.	22
Figura 26. Cálculo de saltos para la escala de Saaty. Fuente: Elaboración propia.	23
Figura 27. Puntuaciones en alcance. Fuente: Expert Choice 11.	24
Figura 28. Puntuaciones de disparos por minuto. Fuente: Expert Choice 11.	24
Figura 29. Puntuaciones de protección. Fuente: Expert Choice 11.	24
Figura 30. Puntuaciones de automatismo. Fuente: Expert Choice 11.	25
Figura 31. Puntuaciones de tiempo entrada en vigilancia. Fuente: Expert Choice 11.	25



Figura 32. Puntuaciones de maniobrabilidad. Fuente: Expert Choice 11.	25
Figura 33. Puntuaciones de autonomía. Fuente: Expert Choice 11.	26
Figura 34. Puntuaciones de tripulación requerida. Fuente: Expert Choice 11.	26
Figura 35. Puntuaciones de mantenimiento. Fuente: Expert Choice 11.	26
Figura 36. Puntuaciones de munición almacenada	27
Figura 37. Captura de la alternativa ganadora. Fuente: Expert Choice 11.	27
Figura 38. Alternativa ganadora. Fuente: Expert Choice 11	28
Figura 39. Matriz final de la metodología AHP. Fuente: Expert Choice 11.	29
Figura 40. Captura de las modificaciones de los criterios. Fuente: Expert Choice 11.	30
Figura 41. Gráfica del resultado de las modificaciones. Fuente: Expert Choice 11.	31
Figura 42. Captura de las modificaciones de subcriterios. Fuente: Expert Choice 11.	31
Figura 43. Gráfica con los resultados de todas las modificaciones. Fuente: Expert Choice 11.	32



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de la Constancia Aleatoria. Fuente: Academia de Logística	14
Tabla 2. Análisis DAFO del Panzerhaubitze 2000. Fuente: Elaboración propia.....	33
Tabla 3. Países con obuses M109. Fuente: Copro.com.ar	39
Tabla 4. Características obús M109 A5E. Fuente: BAE Systems	40
Tabla 5. Características AGM Donar. Fuente: KMW	41
Tabla 6. Características PzH 2000. Fuente: KMW.....	42
Tabla 7. Características M109 A7. Fuente: BAE Systems.....	43
Tabla 8. CAESAR 8X8. Fuente: Nexter.....	44
Tabla 9. Características RCH 155. Fuente: KMW.....	45



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACA – Artillería de Campaña

AGM – Artillery Gun Module

AHP – Analytic Hierarchy Process

ATP – Autopropulsado

C/B – Contrabatería

Cap – Capitán

Cte – Comandante

DAFO – Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades

Dpm – Disparos por minuto

ET – Ejército de Tierra

GACA – Grupo de Artillería de Campaña

GPS – Global Positioning System

JEME – Jefe del Estado Mayor del Ejército de Tierra

KMW – Krauss-Maffei Wegmann

MD – Ministerio de Defensa

MLRS – Multiple Launch Rocket System

MRSI – Multiple Rounds Simultaneous Impact

NBQ – Nuclear, Biológico y Químico

OTAN – Organización del Tratado del Atlántico Norte

PIM – Paladin Integrated Management

RACA – Regimiento de Artillería de Campaña

RAM – Reliability, Availability, Maintainability (Fiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad)

RI – Razón de Inconsistencia

TFG – Trabajo Final de Grado

TOA – Transporte Oruga Acorazado

Tte – Teniente

UME – Unidad Militar de Emergencias

ZO – Zona de Operaciones



1 INTRODUCCIÓN

En el presente Trabajo Fin de Grado (TFG) que forma parte del grado de Ingeniería de Organización Industrial, se desarrolla un estudio y análisis sobre la sustitución de la artillería autopropulsada en España. Gran parte de este TFG ha sido realizado durante la estancia en las prácticas externas del autor en el Grupo de Artillería de Campaña XI (GACA XI), perteneciente a la Brigada 'Extremadura' XI.

1.1 Motivación

Durante las últimas décadas, se ha demostrado el excelente desempeño que ha llevado a cabo la artillería autopropulsada en el Ejército de Tierra. Éste comenzó desde la adquisición de los primeros cañones de asalto que fueron utilizados como piezas de artillería Sturmgeschütz III¹ hasta los actuales obuses ATP, siendo este el único obús autopropulsado en servicio en el ejército español. La gran diversidad de los escenarios a los que se ha enfrentado y sigue enfrentándose el ejército español dentro de sus compromisos con la OTAN, hace que no exista únicamente un marco geográfico definido para el arma de artillería. No se puede olvidar, que, en todos ellos, es importante la necesidad de actuar de forma potente, profunda y precisa a grandes distancias, minimizando todo lo posible los daños colaterales.



*Figura 1. Obús autopropulsado CAESER 8X8 realizando un ejercicio de fuego real.
Fuente: Nexter Systems*

Para el horizonte 2035 está prevista la sustitución del obús ATP M109 A5E por otro más nuevo, sin embargo, esta línea de actuación no está definida y se debe decidir una pieza con una capacidad notable de actuación fuera del Territorio Nacional.

¹ Cañón de asalto producido en Alemania durante la Segunda Guerra Mundial. Estaba armado con un cañón ligero para apoyar a la infantería. Se conoció como cazacarros.



1.2 Ámbito de aplicación y justificación del proyecto

Actualmente, las piezas autopropulsadas son fundamentales para la artillería. Al referirse a la artillería autopropulsada, a diferencia de la artillería remolcada, se refiere a su capacidad de moverse independientemente sin ningún tipo de remolque. Estos obuses van montados sobre una plataforma que les proporciona movilidad (Fernández Martínez, 2020).

El paradigma de los conflictos bélicos está cambiando muy deprisa. Con este cambio de época, la importancia de los apoyos de fuegos proporcionados por la artillería crece exponencialmente debido a los avances tanto tecnológicos como en materia antiaérea que dificulta el apoyo aéreo ejercido por las tropas propias.

El obús M-109 es una pieza de artillería que ha ido evolucionando desde el siglo XX. En la actualidad, dicho material presenta síntomas de obsolescencia y fatiga debido a que se encuentra a poco tiempo de superar su ciclo o tiempo de vida útil. Debido a la situación económica actual, en 2020 se aprobó un presupuesto de algo más de 1,6 millones de euros para sustituir los tubos por una versión mejorada. Con esto se consigue prolongar la vida útil del material, al menos una década más, ante la falta de una inversión económica que sustituya definitivamente el veterano obús M-109 (Ministerio de Defensa, 2018).

El resultado de este trabajo está dirigido a determinar que obús es más apropiado para todas las unidades de artillería de campaña (ACA) del Ejército de Tierra, que demandan un material que permita cumplir las misiones de apoyo a las unidades de maniobra.

1.3 Estructura de la memoria

El presente trabajo se ha dividido en 5 secciones, siendo esta la primera de ellas, que contiene la motivación de la realización del proyecto y una introducción del tema a tratar.

En la segunda sección, queda reflejado tanto el objetivo como el alcance del trabajo. Finalmente, se presenta en detalle la metodología a emplear para cumplir con el objetivo.

La tercera sección comprende los antecedentes y el marco teórico que abarca el tema del TFG. Este apartado comienza con una introducción sobre la artillería autopropulsada. Seguidamente, se presenta la historia del material ATP M109, donde se detalla toda su evolución desde su origen. Para finalizar, se comenta las misiones en las que ha participado el obús en el exterior.

En la cuarta sección, se desarrolla en amplitud el obús M109 A5E, estableciendo sus capacidades, sus problemas y la proyección de futuro que tiene dicha pieza autopropulsada. Tras el desarrollo de este, se presentan detalladamente las diferentes alternativas que pueden ser claros sustitutos del presente obús en dotación en el Ejército de Tierra.

En la penúltima sección se presentan los análisis y resultados del estudio, cumpliendo los objetivos que han sido definidos previamente. La metodología que ha sido empleada es la AHP (Analytic Hierarchy Process), en la cual se ha obtenido una solución tras la información recopilada por un grupo de expertos con experiencia en su puesto táctico en la pieza ATP de las unidades de ET. En dicho método se comparan diferentes criterios y subcriterios para determinar el sistema de armas más apropiado para la operatividad de las unidades. En esta misma sección, el método AHP se complementa con un análisis de sensibilidad para comprobar la robustez de la solución obtenida y un análisis DAFO para conocer sus puntos fuertes y sus debilidades. Finalmente, en el último punto se desarrollan las conclusiones y discusiones tras conocer los resultados del trabajo.



2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 Objetivos y alcance

El principal objetivo de este proyecto es encontrar un sistema de armas que sustituya al actual obús en dotación y que pueda cumplir las necesidades técnicas y tácticas de la artillería moderna para hacer frente a futuros escenarios. Para la consecución de este objetivo, se analizarán los problemas estructurales que presenta el obús, así como sus capacidades con respecto a otro material ATP de otros ejércitos.

Para lograr dicho objetivo, se estudiarán las características técnicas y las limitaciones respecto otros sistemas de armas en dotación en países aliados. No hay que olvidar que una de las mayores limitaciones con las que cuenta el ejército español proviene del ámbito económico. Durante el proyecto, las cuestiones económicas, serán obviadas ante la dificultad que supone establecerlas como criterio. Además, no se conocen todos los precios de adquisición. Entre otros motivos porque hay obuses no han sido adquiridos por ningún ejército. Otro aspecto para tener en cuenta es la viabilidad de adquirir los sistemas de armas existentes en la actualidad. Por ejemplo, hoy en día la adquisición de un obús ruso externo a la OTAN es improbable.

Tras establecer un estudio de los diferentes candidatos para sustituir al obús M-109 A5E, se ofrecerá la solución más indicada para cumplir la misión de un GACA.

2.2 Metodología

Para obtener información sobre diferentes materiales autopropulsados, se ha realizado una investigación donde se han utilizado tanto métodos cuantitativos como cualitativos. La información ha sido principalmente recopilada en páginas web de empresas productoras de sistemas de armas de artillería autopropulsada, páginas web oficiales del Ejército de Tierra y páginas web de tecnología y sistemas militares. Estas fuentes de información han sido extraídas tanto en inglés como en español.

Se han llevado a cabo entrevistas con expertos sobre material ATP, donde han marcado cuales son las condiciones necesarias que debe tener la nueva adquisición, así como su punto de vista respecto la necesidad de sustituir el material ATP del Ejército Español.

Por último, se empleará la metodología de decisión multicriterio discreta AHP (Analytic Hierrarchy Process) de donde se extraerán los resultados que ayudarán a decidir la mejor alternativa según unos criterios establecidos. Después de emplear este método, se llevará a cabo un análisis de sensibilidad para comprobar la robustez de la alternativa ganadora frente a pequeñas modificaciones de aquellos criterios elegidos. Antes de concluir el desarrollo del trabajo, se realizará un análisis DAFO para conocer de una manera más detallada la alternativa ganadora.



3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

3.1 Artillería autopropulsada

La misión de la ACA es proteger y apoyar a todas las organizaciones operativas terrestres en los momentos y las situaciones oportunas. La artillería remolcada tiene la característica de que la pieza debe ser remolcada por otro vehículo, que generalmente realiza funciones de almacenaje y tracción. Sin embargo, la autopropulsión resuelve este gran inconveniente de la artillería remolcada. La elección de la autopropulsión para apoyar a ciertas unidades acorazadas y mecanizadas viene dada por su independencia de movimientos, al estar montada sobre una plataforma, que le confiere agilidad y maniobrabilidad para entrar en posición. Por otro lado, la rapidez de los movimientos de las piezas autopropulsadas y su blindaje exterior ha demostrado su eficacia frente al fuego de contrabatería en conflictos armados en los que ha estado presente (Fernández Martínez, 2020).



Figura 2. Obús remolcado Light Gun. Fuente: Defensa.gob.es

Ahora bien, dentro de la artillería autopropulsada existe el debate entre rueda o cadenas. Este viene de lejos, ya que cada opción nos ofrece unas características diferentes que pueden ser empleadas en unos escenarios determinados. Por un lado, las ruedas proporcionan mayor velocidad en ciertos tipos de superficies como en el combate en población. Otra ventaja que disfrutan los obuses de ruedas son el reducido mantenimiento y en general, la menor carga logística. Además, un ataque sobre el tren de rodaje de un obús que va montado sobre ruedas podría destrozar una o dos ruedas, pero gracias al sistema run on flat², podría seguir la marcha con el resto de las ruedas. Sin embargo, un ataque a un vehículo con cadenas lo puede dejar totalmente inoperativo en medio del combate (Fernández Martínez, 2020).

² Los run on flat se caracterizan por un soporte interno en la que se apoya la banda de rodadura que permite a los neumáticos seguir rodando en caso de pinchazo o pérdida repentina de la presión.



Por otro lado, las cadenas presentan una movilidad superior debido a su mayor superficie y tracción y ofrecen protección a la tripulación debido a la capacidad de soportar más peso transformado en blindaje y armamento.



Figura 3. Obús M109 A5E disparando munición base bleed. Fuente: Elaboración propia

3.2 Antecedentes

Refiriéndonos al obús que tiene España en dotación actualmente, hay que retroceder a principios de 1960, donde fue usado por primera en la guerra de Vietnam, demostrando una eficacia muy grande y que llevó a que se desarrollaran nuevas versiones. El obús M109 era la primera variante estadounidense desarrollada por la empresa BAE System. La familia del material autopropulsado M-109 ha sido utilizada por diferentes países en otras guerras, por ejemplo: Israel en la guerra de Yom Kippur en 1973 y la guerra del Líbano en 2006, Irán durante la década de los 80 en la guerra Irán-Irak o Estados Unidos en la guerra del Golfo. España recibió sus primeros obuses a principios 1973 en su primera versión, año en el que España empleó la artillería autopropulsada en el Sáhara Occidental debido a los acontecimientos que se sucedían. Las continuas actualizaciones a la capacidad de supervivencia, a las municiones, al cañón y a otros sistemas electrónicos, han ampliado las capacidades del sistema durante la vida útil del obús (Fernández Martínez, 2020).

3.2.1 Evolución M-109

A lo largo del tiempo, el ATP ha ido evolucionando con pequeñas mejoras hasta la versión A7. Actualmente, hay países que aún mantienen sus primeras versiones como Libia o Turquía, que siguen teniendo disponible la primera versión del obús. En el Anexo I se muestran los actuales países con el obús M109 en todas sus versiones (Anónimo, 2012).

- M109: El primer obús fue producido en 1963. Ésta primera variante tenía un cañón M126 de calibre 155 mm con 28 cartuchos de munición y un alcance de casi 17 km. Se puede diferenciar de las demás versiones debido a su corto cañón y su freno de boca de doble deflector.



- M109 A1: En esta variante la única modificación que se produjo fue el cambio del cañón M126 por el M185 de calibre 39 de longitud, aumentando su alcance hasta 18 km.
- M109 A2: En esta versión la estiba de cartuchos aumentó a 36. También se produjo una mejora de la vida útil en cuanto a su confiabilidad, mantenibilidad y su disponibilidad. Con este modelo se fabricó otra versión llamada M109 A1B con cambios mínimos.
- M109 A3 y M109 A3B: Los obuses A3 fueron reconstruidos a partir de la versión A2 con unos rasgos muy poco significativos.
- M109 A4: Se produjeron mejoras NBQ y RAM³, incluyendo calentadores y purificadores de aire. También fue mejorado el motor para que fuera capaz de arrancar en caso de emergencia.
- M109 A5E: Versión actual en dotación en el Ejército de Tierra desde el 2003, en el que se mejoró el motor y se sustituyó el tubo por un modelo 284 llegando a los 23 km con munición convencional y a 30 km con munición asistida por cohete.



Figura 4. Primera versión M109 en Vietnam.
Fuente: Corpo

³ Metodología de confiabilidad que permite predecir el comportamiento del sistema de armas.



3.3 Misiones en el exterior

A principio de marzo de 2022, España desplegó la artillería autopropulsada a Letonia por primera vez en una misión impulsada por la OTAN, integrándose en el batallón multinacional de los aliados. Esta operación llamada 'Presencia Avanzada Reforzada', tiene como objetivo mantener la disuasión, mediante un despliegue de naturaleza defensiva frente a cualquier ataque a los países bálticos miembros de la OTAN. El RACA 11 fue el encargado de enviar seis de sus obuses ATP M-109 A5E. La decisión de este despliegue busca fortalecer las misiones defensivas tras la invasión perpetrada por Rusia a Ucrania (Carrasco, 2022).



Figura 5. ATP M109 A5E en Letonia. Fuente: Infodefensa

El 22 de Julio, se produjo el relevo artillero entre la batería del RACA 11 desplegada y la batería del GACA X perteneciente a la Brigada 'Guzmán el Bueno'. Con esto, la artillería empieza a tener importancia fuera del territorio español, haciendo saber la importancia de mantener actualizados los sistemas de armas de artillería (Carrasco, 2022).

4 USO DEL ATP M-109 A5E PARA EL FUTURO

Según el Ministerio de Defensa (MD, s.f.), con la iniciativa del JEME de la "Fuerza 2035" se han definido cuáles serán los conflictos y necesidades para el entorno operativo en el año 2035 para España. De este modo, el Ejército de Tierra deberá estar en condiciones de actuar frente a cualquier amenaza que se produzca fuera de sus fronteras, fruto de la rapidez con la que van evolucionando los acontecimientos caracterizados por la inestabilidad y volatilidad.

4.1 Descripción del ATP M-109 A5E

Actualmente, el material que usan los GACA's es el Obús Autopropulsado M-109 A5E. Este sistema está dotado de un calibre 155/39 y va montado sobre un vehículo acorazado de cadenas que le proporciona maniobrabilidad y gran movilidad. En su maniobra, es el encargado



de apoyar a las unidades mecanizadas y de carros como el carro de combate Leopard 2E o el Transporte Oruga Acorazado (TOA). Según el manual de bocas de fuego del Ministerio de Defensa (MD, 2011), una gran ventaja que ofrece este sistema de armas es la posibilidad de usar diferentes tipos de proyectiles (fumígenos, rompedores, iluminantes, etc.); permitiendo dar profundidad y precisión a la maniobra. En cuanto al sistema de puntería, el obús posee un sistema hidráulico para facilitar el trabajo a la tripulación, aunque puede ser manejado manualmente. A parte del armamento individual de cada tripulante, el obús tiene como arma secundaria una de calibre de 12,7 mm, proporcionando seguridad a los sirvientes de la pieza con posibles amenazas cercanas. En cuanto al blindaje, las cámaras de conducción, de combate y de motor están protegidas por un blindaje de 200 mm capaz de soportar hasta fragmentos de proyectiles de artillería. También cuenta con defensa NBC por disponer de un equipo que proporciona aire purificado a la tripulación de la pieza y ser una cámara hermética. (MD, 2009)



Figura 6. ATP M109 A5E disparando munición base bleed. Fuente: Elaboración propia

En el Anexo II se recogen todas las características técnicas del Obús ATP M109 A5E.

4.2 Problemática actual y futuros escenarios

La maniobra que se lleva en los escenarios actuales requiere un funcionamiento autónomo de estos materiales, lo que hace necesario una mejora de las características de esta versión de la pieza. Las piezas autopropulsadas con capacidades similares, pero con sistemas de navegación y posicionamiento modernos suponen una gran amenaza para el M109 A5E, ya que realizan acciones de fuego y cambios de asentamiento en menos tiempo.

Debido a la antigüedad de la pieza, el mantenimiento constante es clave para que tenga una operatividad completa. Por este motivo, el desgaste de las cadenas es muy común en todas las unidades que disponen de ATP. Según diversos manuales de apoyos de fuego (MD, 2015; MD 2014; MD, 2018), este desgaste de las cadenas hace que los eslabones de la cadena tengan una cierta holgura que provoca una pérdida de tensión en la cadena e impida su movimiento. Por otro lado, las barras de torsión de esta versión pueden romperse fácilmente si se produce un disparo con un ángulo de elevación elevado. Esto sucede al incremento del peso del calibre 155/39 que no está adaptado a las barras. Además, hay que añadir la dificultad de encontrar repuestos, pues muchos de ellos no se fabrican al ser un material antiguo. Estos repuestos son muy importantes para reparar los obuses inoperativos, ya que obliga al personal a realizar un mantenimiento preventivo en lugar de realizar actividades más importantes como instrucción y adiestramiento.



Para mejorar las capacidades autopropulsadas a corto plazo, los países de nuestro entorno tienden a desarrollar y diseñar su artillería aprovechando los diseños ya existentes, mejorando sus prestaciones. El esfuerzo se debe centrar en aplicar la tecnología y la ciencia a la artillería para mejorar el alcance y la cadencia de fuegos (MD, 2019; MD, 2009).

El conocimiento de las actuales amenazas no predice los futuros escenarios, por lo que hay que pensar en unos futuros conflictos en los que los apoyos de fuegos estén organizados, entrenados y equipados para cumplir la misión y mantener ventaja tecnológica sobre el enemigo. Las capacidades del GACA del futuro han sido objeto de varios estudios, siendo éstas establecidas por el teniente coronel Riesgo y García en el memorial de la Academia de Artillería (ACART, 2018), entre las que se pueden destacar:

- El alcance de la artillería clásica hasta los 60 km.
- La rapidez para la puesta en vigilancia y la salida de posición.
- Establecer mecanismos de ayuda a la tripulación para reducir su fatiga.
- Integración en los sistemas de mando y control para reducir los tiempos de respuesta.
- Conseguir aumentar la capacidad de penetración.
- Obtener una mayor potencia de fuego con una menor dotación del personal.
- Mejorar las capacidades de topografía y cálculo de datos balísticos, siendo lo más autónomas posible.

4.3 Obtención de nuevo material ATP

La finalidad de este subapartado es obtener una visión general de los sistemas de armas existentes en la actualidad, que puedan compararse con el ATP M-109 A5E. Todos los posibles candidatos pertenecen a la OTAN. No se contempla ningún obús externo a la OTAN, ya que su posible adquisición sería improbable. El material de los países tecnológicamente avanzados puede ser un punto de partida para trabajar sobre el nuevo sistema de armas y evitar adquirir la compra de un material nuevo (en el Anexo III se reflejan las características técnicas).

- **AGM Donar**

Obús autopropulsado de calibre 155/52 basado en el chasis del Sistema de cohetes de lanzamiento múltiple (MLRS) fabricado por Krauss-Maffei Wrgmann (KMW). Este sistema llamado Artillery Gun Module (AGM), cuenta con un sistema de navegación autónomo mixto y un sistema de puntería automática, lo que reduce la tripulación, y como consecuencia de esto, los errores cometidos (KMW, s.f.).



Figura 7. Obús AGM DONAR. Fuente: KMW



Gracias a la arquitectura del sistema basado en la red DONAR, también será posible implementar la conducción y acción autónomas (controladas a distancia) en el futuro.

A pesar de que el AGM Donar no está en dotación en ningún país, hay varios ejércitos que están interesados en adquirirlo. Respecto a su precio, no se conoce la cantidad exacta, pues no se tienen precedentes de su adquisición (ACART, 2018).

- **PzH 2000**

El PzH 2000 alemán (Panzerhaubitze 2000) es un obús autopropulsado de calibre 155/52 desarrollado por KMW que empezó a entrar en servicio en 1998 para el ejército alemán. La mayor ventaja que presenta esta pieza de artillería es que está montada sobre una barcaza del carro de combate Leopard 2E, lo que supondría una ventaja logística para el ejército español al permitir la unificación de los repuestos.

En cuanto a la munición, el PzH 2000 es compatible con la munición estándar de la OTAN y tiene un sistema de carga automático. Éste puede almacenar hasta 60 proyectiles. Con su alcance, el sistema de navegación y puntería totalmente automático hacen uno de los obuses autopropulsados más potentes en la actualidad (Anónimo, 2006).

A principios de 2022, Alemania y Holanda entregaron 12 de estos obuses a Ucrania para combatir la invasión rusa. Pocos meses después, Alemania aprobó la venta de 100 obuses PzH 2000 a Ucrania con un valor de 17,2 millones de dólares por obús (ACART, 2018).



Figura 8. Obús Panzerhaubitze 2000. Fuente: KMW

- **M-109 A7**

Este sistema de armas es una mejora significativa de la anterior versión M-109 A6 Paladin Integrated Management (PIM) fabricado por BAE Systems. Introducido en el año 2015, este obús ATP es la última versión M-109 y ofrece apoyo de fuego clave para una variedad de posibles misiones de combate realizadas por las Brigadas del Ejército de Estados Unidos (MD, 2009).



Figura 9. Obús ATP M109 A7. Fuente: BAE System

La nueva versión utiliza el mismo armamento y la misma cabina que la versión A6. Esta versión utiliza un chasis del vehículo Bradley con la finalidad de reducir los costes de producción y mantenimiento. Además, dispone de un breve tiempo de reacción y redespunte y está equipado con un sistema de control de fuego automático con navegación integrada y sistema de posicionamiento inercial. El nuevo chasis permite que todo el personal tenga una capacidad de supervivencia superior a otros obuses autopropulsados, ya que la pieza puede ser operada sin que la tripulación salga del vehículo (trinca automática).

El hecho de que provenga de la familia de los M-109, es una clara ventaja con respecto a cuestiones económicas y logísticas para el Ejército Español para su adquisición.

En 2018, comenzó su entrega a las unidades con sus respectivos transportes orugas de munición M992 A3. Esto supuso una inversión de 300 millones de euros, por lo que cada obús con su TOA tiene un coste alrededor de 6 millones de euros (Cte Aleu Puerto, 2020).

• CAESAR 8x8

El obús autopropulsado CAESAR 8x8, ha sido desarrollado por la empresa francesa Nexter de 155 mm/52 calibres y está instalado sobre el chasis de camión Tatra 7815 de tracción integral a las 8 ruedas. Su elevada autonomía y movilidad operativa, está asegurada por la plataforma móvil todo terreno y su capacidad de carga útil de hasta 30 disparos disponibles sobre el vehículo. El CAESAR 8x8 es capaz de disparar impactos simultáneos de múltiples rondas (MRSI). Puede lanzar un par de proyectiles, cada uno en diferentes trayectorias, para que todos los proyectiles lleguen al mismo tiempo. Además, tiene tiempos muy breves de entrada y salida y puede usarse en misiones de disparar y deslizarse para evitar el fuego de la batería. Otra característica importante, es el sistema de carga semiautomática, la autonomía y la reserva de munición sobre el vehículo (Teniente Coronel Riesgo y García, 2018).

Dinamarca se ha convertido en el primer cliente en obtener el CAESAR 8x8 y el precio unitario de un solo obús modelo CAESAR 8x8 es de alrededor de 7,5 millones de dólares (KNDS, 2019)



Figura 10. Obús francés CAESAR 8X8. Fuente: Nexter Systems

- **RCH 155**

El RCH 155 (Remotely Controlled Howitzer) es un sistema de artillería autopropulsado que utiliza un chasis 8x8 de transporte blindado de personal y un cañón de artillería (AGM) de 155 mm, que fue desarrollado por KMW como complemento del obús PzH 2000. La principal diferencia con el Donar es que el obús RCH se ha implementado sobre un vehículo Boxer. El obús es de 155 mm controlado a distancia se basa en la tecnología de un obús autopropulsado PzH 2000. Este sistema de artillería está altamente automatizado y no tripulado. Además, tiene un sistema de carga completamente automático y puede llevar a cabo acciones de fuego de impacto simultáneo de múltiples rondas (MRSI).

El Howitzer es controlado a distancia a través de enlace de datos o radio, aunque en caso de emergencia o fallo, este sistema de artillería puede cargar y disparar manualmente. El sistema de artillería es compatible con todos los proyectiles de la OTAN de 155 mm (KMW, s.f.).



Figura 11. Obús RCH 155. Fuente: KMW

El ejército alemán ha comenzado la adquisición de estos obuses para complementar a sus unidades con el PzH 2000.



5. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA AHP

5.1 Metodología multicriterio AHP

El método AHP o método de Jerarquización Analítica, es una herramienta utilizada para resolver problemas en los que se necesitan evaluar aspectos tanto cuantitativos como cualitativos. La metodología permite simplificar comparaciones complejas y organizar los aspectos críticos de dicho problema, así como la jerarquización de todos los criterios y subcriterios evaluados. Se utiliza normalmente para realizar una comparación entre distintas alternativas y decidir cuál es la más apropiada. Además, puede ser utilizado para decisiones simples o complejas. Esta metodología fue creada por Thomas L. Saaty durante los años 70 en la Universidad de Pensilvania (Ruiz López y Balmori Abella, s.f.).

El método AHP consta de cuatro pasos. En primer lugar, se lleva a cabo una representación del problema a través de un diagrama de árbol donde: se define el objetivo principal, los criterios a evaluar y las alternativas propuestas.

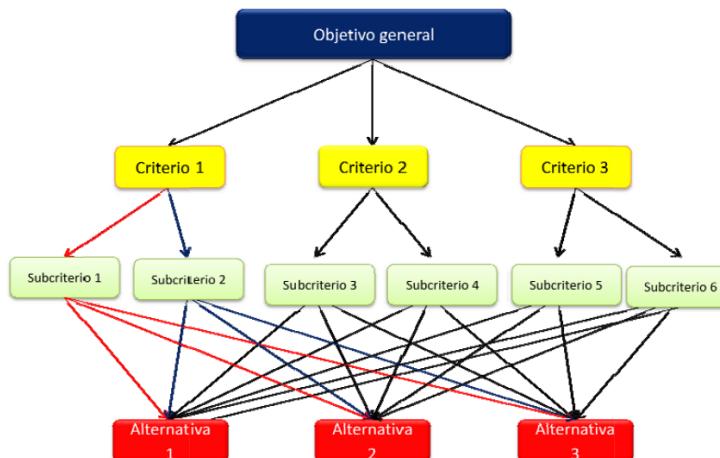


Figura 12. Árbol de niveles. Fuente: Academia de Logística

Seguidamente, a través de las encuestas y entrevistas realizadas se obtienen los pesos de los criterios elegidos, comparando el grado de importancia de una característica con otra. Esto es definido mediante la escala de Saaty a través del grupo de expertos. Esta escala, es usada para establecer las preferencias de los criterios o alternativas para conseguir una homogeneidad en las comparaciones que se realicen. Solo son utilizados números impares, siendo el 1 la valoración más baja y el 9 la valoración más alta. En esta fase, los expertos comparan los criterios y los subcriterios utilizando la escala de Saaty.

Valor	Definición	Comentario
1	Igual importancia	A y B tienen la misma importancia
3	Importancia moderada	A es ligeramente más importante que B
5	Importancia grande	A es más importante que B
7	Importancia muy grande	A es mucho más importante que B
9	Importancia extrema	A es extremadamente más importante que B

Figura 13. Escala de Saaty. Fuente: Academia de Logística



Esta metodología tiene un indicador que controla el grado de consistencia de las puntuaciones. Con esto podemos saber el grado de incoherencia de las puntuaciones que han dado los expertos a través de las entrevistas. Como normal general, si la Razón de Inconsistencia (RI) es mayor de un 10%, las puntuaciones obtenidas en los criterios no son muy coherentes. Tras disponer de la importancia de los criterios, se calcula la consistencia a través de la RI, que se define como el cociente entre el Índice de Consistencia (IC) y la Consistencia Aleatoria (CA).

$$RI = \frac{IC}{CA}$$

La CA se obtiene en la siguiente tabla:

Tabla 1. Valores de la Constancia Aleatoria. Fuente: Academia de Logística

Tamaño de la matriz (<i>n</i>)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Consistencia aleatoria (CA)	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

El IC se puede calcular como:

$$IC = \frac{\lambda MAX - n}{n - 1}$$

Donde λMAX es el valor de la matriz A de vector propio asociado w , siendo w el vector de la importancia.

$$A * w = \lambda MAX * w$$

A continuación, los expertos evalúan las alternativas para cada subcriterio, obteniendo tantas matrices como subcriterios haya. Por último, se genera la matriz de decisión trasladando los pesos calculados en los pasos anteriores.

CRITERIOS	ALTERNATIVAS			
		Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
CRITERIO 1	W1			
Subcriterio 1	W11			
Subcriterio 2	W12			
CRITERIO 2	W2			
Subcriterio 3	W23			
Subcriterio 4	W24			
CRITERIO 3	W3			
Subcriterio 5	W25			
Subcriterio 6	W26			

Figura 14. Matriz de decisión. Fuente: Academia de Logística



5.2 Aplicación de la metodología AHP

A continuación, usando el software “Expert Choice 11” se expone la aplicación de la metodología AHP para seleccionar una alternativa óptima al problema presentado.

5.2.1 Primera etapa: Representación del Problema

Para empezar con la primera etapa, se eligen los candidatos a comparar. La elección de los mejores sistemas de armas viene reflejada en el formulario del Anexo III, donde cada experto ha señalado los cinco mejores obuses autopropulsados que hay actualmente en el marco OTAN. El conocimiento y la antigüedad de los expertos del GACA han resaltado en la encuesta el material ATP más apropiado para el ET. Tras establecer un recuento de los resultados de la encuesta, se han elegido los cinco obuses más repetidos. Según el grupo de expertos en artillería autopropulsada, las mejores alternativas elegidas para sustituir al obús actual en dotación son las descritas anteriormente en el apartado 4.3.

Estas cinco alternativas cuentan con múltiples ventajas y desventajas para su uso en las unidades de Artillería, por lo que se ha llevado a cabo un análisis AHP para elegir el sistema de armas más adecuado.

CRITERIOS Y SUBCRITERIOS

A la hora de seleccionar los criterios y subcriterios se utilizó una encuesta (Anexo IV) realizada a través del mismo formulario de Google para la selección de los obuses. Esta encuesta fue trasladada a todos los expertos del GACA XI. Una vez realizada la encuesta y obtenidos los resultados, es necesario definir y agrupar los criterios y subcriterios que van a ser aplicados en el análisis multicriterio.

The screenshot shows a Google Forms survey. At the top, it says "Google Forms". Below that, there's a purple header bar with the text "Te he invitado a que rellenes un formulario:". The main content area has a white background with the following text:
Criterios a tener en cuenta para elegir una pieza autopropulsada para el futuro en las unidades de artillería
 Due to your professional trajectory, you have been selected to answer the following questionnaire related to self-propelled artillery pieces. In the following questionnaire, please indicate a maximum of 10 criteria to consider when selecting a gun. Write the criteria according to their importance, with the first being the most important.
RELEÑAR FORMULARIO

At the bottom of the form, there's a link: "Crea tu propio formulario de Google".

Figura 15. Encuesta para la selección de criterios y obuses. Fuente: Elaboración propia

Los criterios seleccionados son los siguientes:

Criterio 1: Características de combate

Este criterio comprende todas las especificaciones técnicas de disparo a la hora de efectuar una maniobra de tiro real con el obús autopropulsado. En las características de combate también se incluye las características de supervivencia de la tripulación.

Los subcriterios que han sido elegidos son los siguientes:



- Alcance: la distancia máxima que es capaz de alcanzar el obús usando tanto munición convencional como munición asistida (municiones estándar de la OTAN).
- Disparos por minuto (dpm): la potencia de fuego del obús evaluada mediante la cadencia de disparo.
- Protección: tanto el blindaje de la pieza como la protección que dispone el personal. Esto último incluye la dotación de armas secundarias y protección NBQ.
- Automatismo: tanto sistemas de carga automática como sistemas de navegación inercial y GPS.

Criterio 2: Movilidad

Este comprende la capacidad de respuesta y movimiento que tiene la pieza. Para dar mayor detalle, este criterio se compone de los siguientes subcriterios:

- Tiempo entrada en vigilancia: el tiempo requerido para entrar en posición y prepararse para efectuar el primer disparo.
- Maniobrabilidad: se incluyen las capacidades de movilidad y velocidad en cualquier terreno. Este subcriterio puede llegar a ser complejo de evaluar, ya que los vehículos cadenas y ruedas ofrecen prestaciones distintas y en el objetivo del proyecto no se tiene un escenario de futuro específico.
- Autonomía: cantidad de kilómetros que puede recorrer el obús hasta repostar de nuevo.

Criterio 3: Apoyo logístico

Este último criterio comprende la evaluación de la pieza en aspectos logísticos, incluido el personal requerido para su funcionamiento.

Los subcriterios elegidos son:

- Tripulación: el personal en dotación requerido para su servicio en fuego.
- Mantenimiento: los trabajos que lo mantendrán operativo, la rapidez y la facilidad de estos. También se incluye la facilidad de obtener repuestos (barcazas, armamento, etc).
- Munición almacenada: la cantidad de munición que puede ir almacenada en la pieza lista para disparar.

Una vez determinados los criterios, subcriterios y los candidatos, se presenta el árbol de jerarquías.



Obús autopropulsado a sustituir

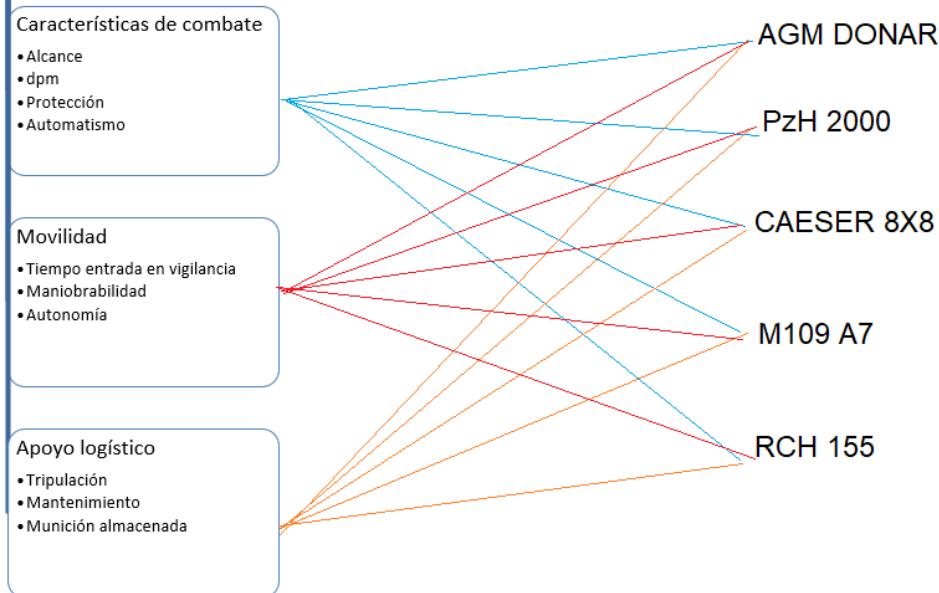


Figura 16. Árbol de jerarquías. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se introduce la información del árbol jerárquico en el software Expert Choice 11, quedando preparado para iniciar la siguiente etapa.

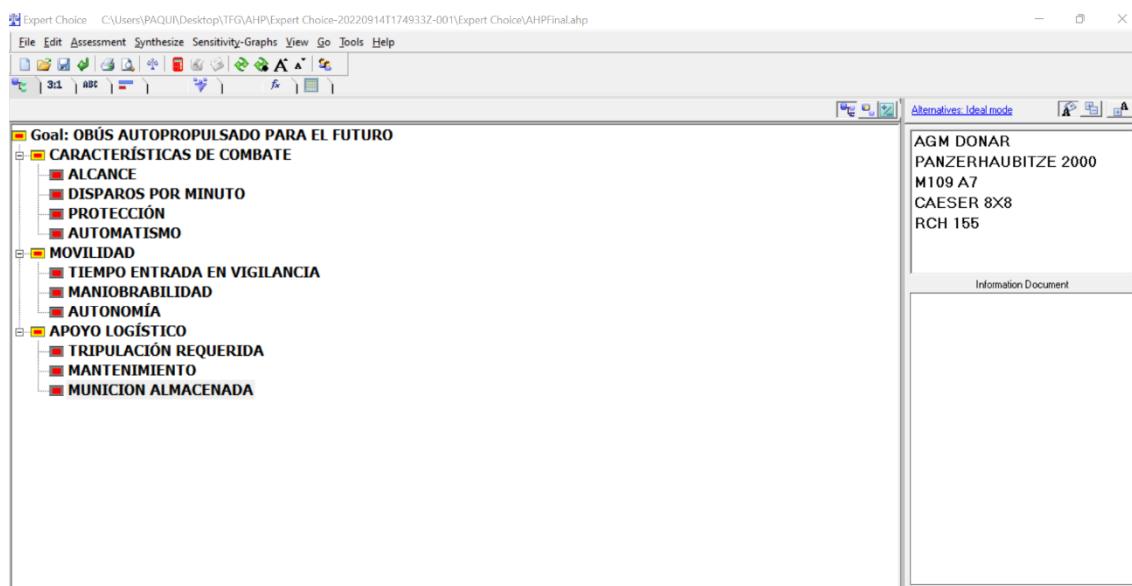


Figura 17. Captura de la primera etapa. Fuente: Software Expert Choice 11



5.2.2 Segunda etapa: Evaluación de los criterios de valoración

En esta segunda etapa se han asignado los pesos a los criterios y subcriterios mediante encuestas basadas en la escala de Saaty. La encuesta ha sido dirigida hacia suboficiales y oficiales con una antigüedad en su puesto táctico que permita garantizar una buena evaluación de los criterios. Las ponderaciones han sido elegidas realizando una media de los resultados obtenidos de las respuestas de los expertos en las encuestas. Las encuestas con sus respectivas evaluaciones están reflejadas en el Anexo V.

CRITERIOS

Tras tener los resultados de las encuestas los trasladamos al software.

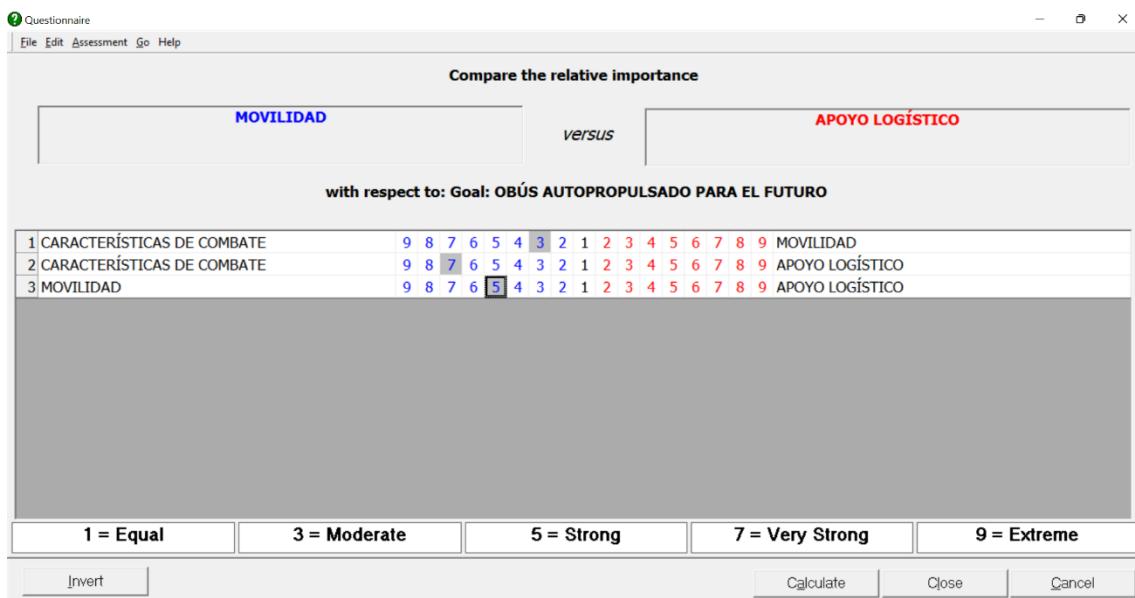


Figura 18. Captura de la media sobre las ponderaciones de los criterios. Fuente: Expert Choice 11

A continuación, se explica cómo se construye esta matriz.

El criterio **características de combate** se considera "ligeramente más importante" que el criterio **movilidad**. Un "7" quiere decir que el criterio **características de combate** se considera "mucho más importante" que el criterio **apoyo logístico** (La tabla se Saaty se puede ver en la figura 13). Por último, el criterio **movilidad** se considera "más importante" que el **apoyo logístico**.

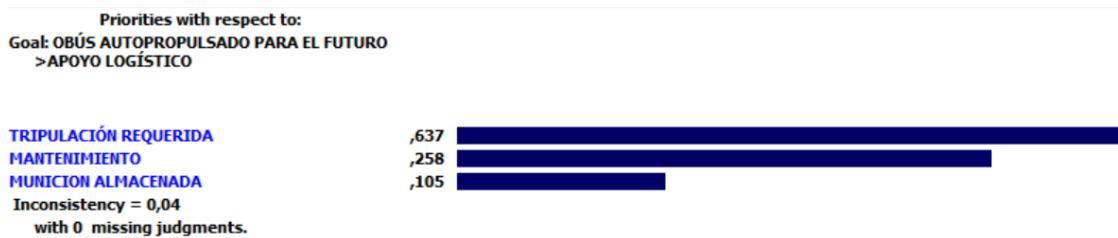


Figura 19. Porcentajes resultantes de los criterios. Fuente: Expert Choice 11.



En los resultados de las encuestas realizadas a los expertos que se muestran en la figura 18, se observa una mayor importancia en las características de combate del obús frente a los otros dos criterios, en particular el apoyo logístico. Esto se debe a la importancia de tener una gran potencia de fuego, que es definido como la cantidad de fuego que puede ser proporcionada por una unidad o sistema de armas. Del mismo modo es superior la importancia del movimiento de los obuses frente a cuestiones logísticas, las cuales quedan apartadas a un segundo plano.

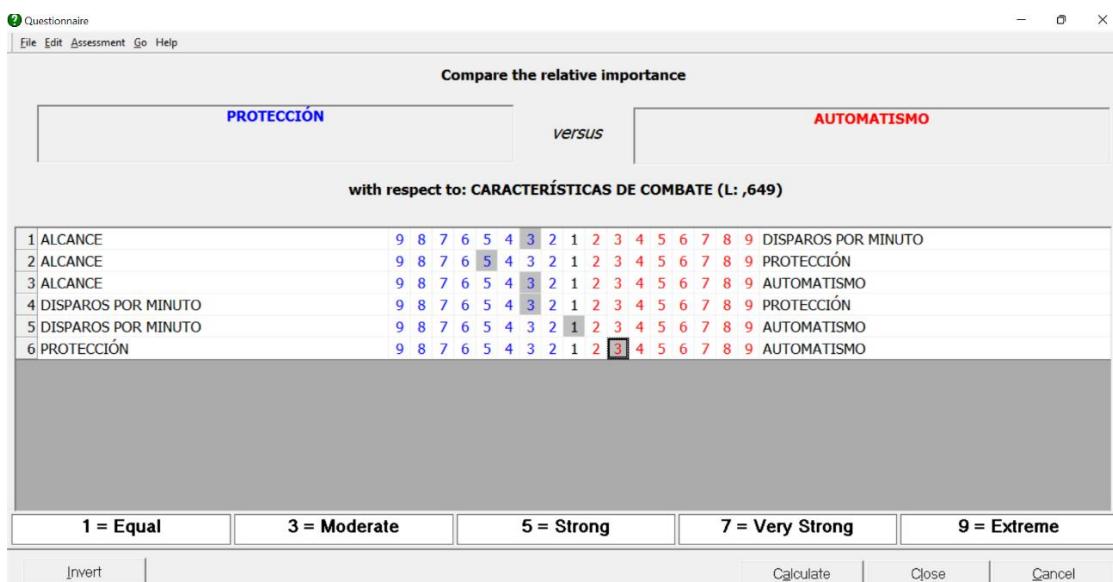
Las características de combate adquieren el 64,9% del peso total, seguido de la movilidad con un 27,9% y el apoyo logístico que se queda en un 7,2%. El hecho de que la logística y el mantenimiento tenga una puntuación baja, no quiere decir que se le poca importancia en la instrucción diaria de las unidades. Sin embargo, lo que va a determinar la superioridad de un grupo táctico es la potencia de combate (donde se incluye la potencia de fuego, munición, medios, capacidad de maniobra, etc.).

Tras obtener los resultados se puede observar que la RI es 0,06 (6%). Esto indica coherencia y consistencia de las respuestas obtenidas.

SUBCRITERIOS

De la misma forma que los criterios, se introducen los resultados de las encuestas en el software para determinar los pesos de los subcriterios establecidos por los expertos de la unidad de artillería.

En primer lugar, se muestran los resultados los de los subcriterios de las características de combate.



*Figura 20. Media de las ponderaciones de los subcriterios de características de combate.
Fuente: Expert Choice 11.*

En la figura 20, hay dos subcriterios con la misma puntuación (disparos por minuto y automatismo). Los subcriterios tienen una puntuación de "1". Esto quiere decir que el subcriterio disparos por minuto es "igual de importante" que el subcriterio automatismo.

Los resultados determinan que el alcance es la característica más decisiva a la hora de elegir un obús autopropulsado (tiene un "5" frente al subcriterio protección y un "3" frente a los demás subcriterios). Sin embargo, no hay que quitarle importancia a la cadencia de disparo y al



automatismo. Las nuevas municiones, ya sean de alcance extendido o de alta precisión, junto con la cadencia de disparo, ofrecen una mayor potencia de fuego en combate.

En la figura anterior, se observa un caso en el que el subcriterio automatismo obtiene una puntuación de "3". El color rojo indica que el subcriterio de la derecha es "ligeramente más importante" que el subcriterio protección.

El posicionamiento, la puesta en vigilancia y la carga de los proyectiles debe realizarse de forma automática, con una precisión que permita conseguir los efectos esperados sobre el objetivo, y a al mismo tiempo, minimizar todos los daños colaterales.



Figura 21. Porcentajes de los subcriterios. Fuente: Expert Choice 11.

Después de obtener el elevado peso del criterio **características de combate**, se tienen unos porcentajes más ajustados en los subcriterios. La protección es el único subcriterio que se queda en un segundo plano respecto a los demás, con un porcentaje del 7,8%. Esto se debe a la gran importancia y determinación para un obús que tiene la cadencia de fuego (20%), el alcance (52,2%) y el automatismo (20%). La RI marca 0,02. Este dato es muy bueno, marcando coherencia en los resultados.

En segundo lugar, se muestra los resultados de los subcriterios de movilidad.

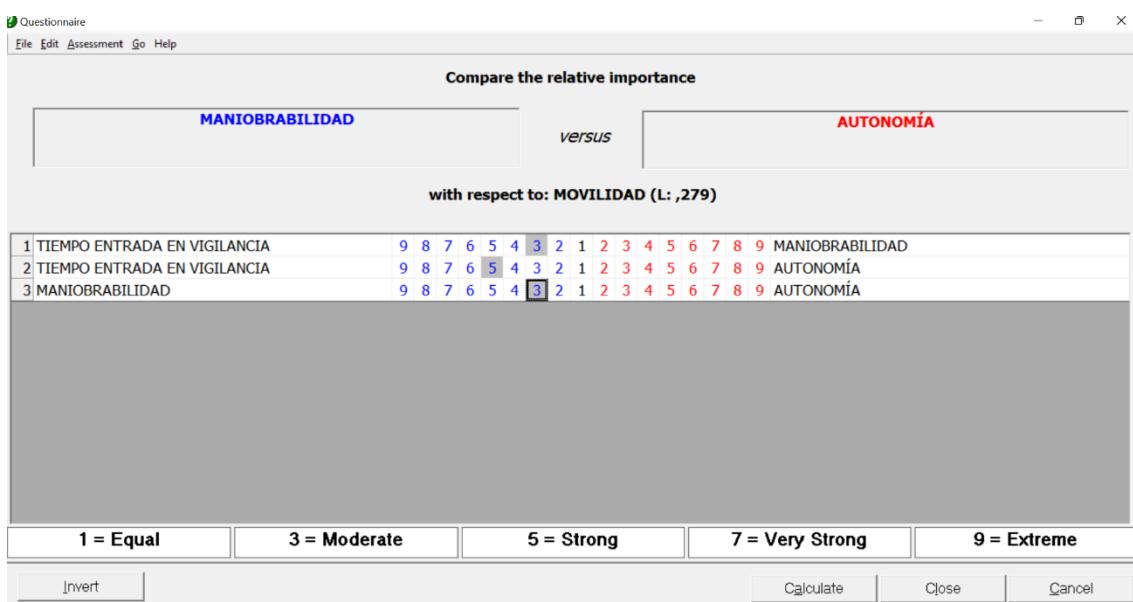


Figura 22. Media de las ponderaciones de los subcriterios de movilidad. Fuente: Expert Choice 11.



La capacidad de respuesta es fundamental para atender a las necesidades de los entornos operativos del futuro. Esto se traduce a la importancia de tener adiestrada a la unidad para tener un tiempo de entrada en vigilancia apropiado. La capacidad de realizar el primer disparo desde un estado en movimiento en menos de un minuto es la característica más importante que debe tener un obús en el campo de **movilidad**, así como salir de esa misma posición en un tiempo similar para evitar el fuego C/B⁴. Esto obliga a integrar sistemas de navegación inercial y GPS que permitan una mayor celeridad a la hora de entrar en posición y establecerse en vigilancia. Tampoco hay que olvidar un sistema de cálculo autónomo integrado en el sistema de mando y control (TALOS).

Por otro lado, no hay que dejar olvidada la autonomía del vehículo, así como la velocidad y su tren de rodaje, los cuales permiten a la unidad de apoyo mejorar su maniobrabilidad.



Figura 23. Porcentajes de subcriterios. Fuente: Expert Choice 11

El tiempo de entrada en vigilancia tiene un porcentaje del 62,7% del peso, mientras que la maniobrabilidad tiene un 25,8% y la autonomía un 10,5%. La RI es menor del 10%, lo cual, es un dato válido.

⁴ Acciones de fuego con el objeto de neutralizar o destruir la artillería enemiga



Por último, los resultados obtenidos con respecto a los subcriterios del apoyo logístico son los siguientes:

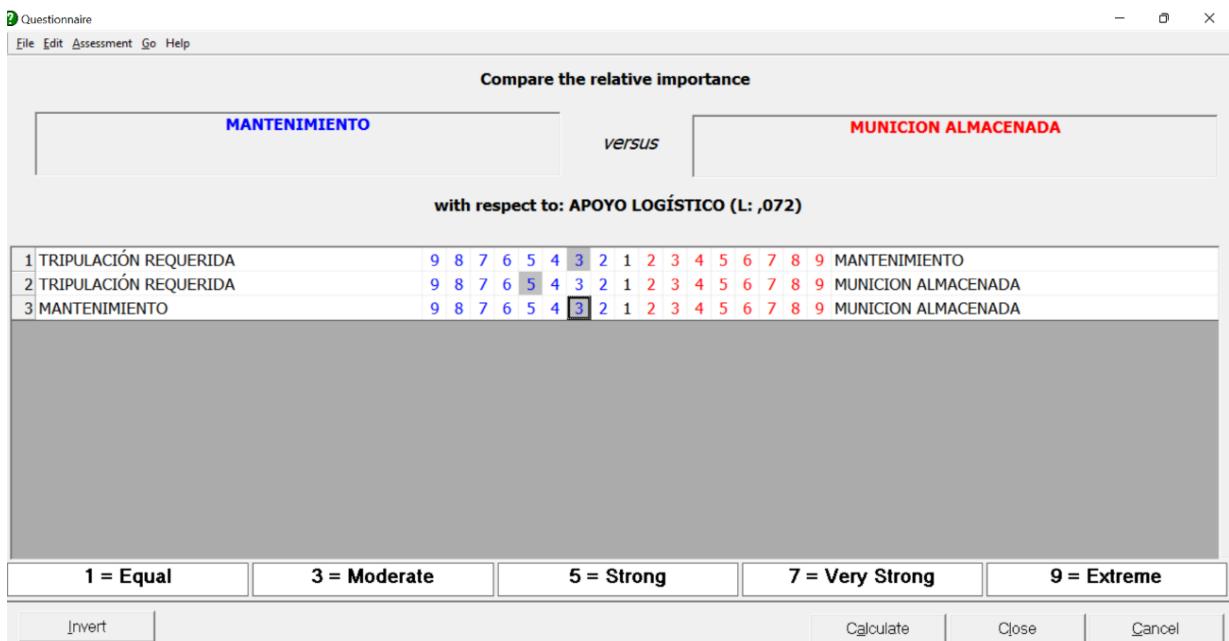


Figura 24. Media de los subcriterios de apoyo logístico. Fuente: Expert Choice 11.

En esta valoración, el personal requerido para el funcionamiento de la pieza es una característica que priorizan los expertos. Esto se debe al elevado número del personal necesario en el obús ATP M109 A5E actual, en comparación con el material autopropulsado fuera de nuestras fronteras. Lo óptimo sería la reducción de los sirvientes de la pieza, para ganar en protección hacia el personal y emplear más personal en labores de mantenimiento.

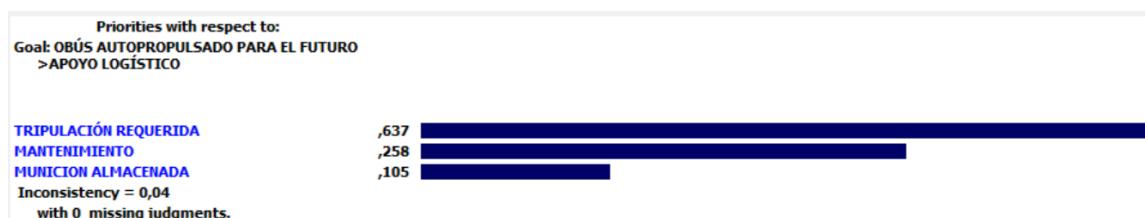


Figura 25. Porcentajes de los subcriterios de apoyo logístico. Fuente: Expert Choice 11.

La tripulación requerida (63,7%) es considerada más importante que el mantenimiento (25,8%) y que la munición almacenada (10,5%). El hecho de tener menos sirvientes de pieza se traduce entre otras cosas, a más protección para el personal y menos probabilidad de fallo humano. Al igual que antes, la RI es menor que 0,1 (10%). La RI es de 0,04 (0,4%), por lo que las respuestas del grupo de expertos tienen consistencia y coherencia.

5.2.3 Tercera etapa: Evaluación de las alternativas

En esta etapa se evalúan las alternativas dos a dos frente a cada uno de los subcriterios asignados. Es decir, valorar cuál de las alternativas cumple mejor con las características



requeridas que deben cumplir mediante los subcriterios. Las evaluaciones de las alternativas se han llevado a cabo de dos formas:

- En primer lugar, cuando se trata de comprar dos alternativas frente a un subcriterio que es totalmente subjetivo (por ejemplo, el subcriterio maniobrabilidad). En este caso la evaluación de las alternativas se ha llevado a cabo igual que en la segunda etapa. Se obtienen los cinco resultados de los expertos y se establece una media para asignarle un valor en la escala de Saaty. Las encuestas con sus respectivas evaluaciones se pueden visualizar en el anexo VI.
- Por otro lado, el problema surge cuando se quiere traducir unos datos numéricos (procedentes de algunos subcriterios) a la escala de comparación. Por ejemplo, la autonomía de una pieza se traduce en un valor numérico de manual. A continuación, se ha realizado un método de cálculo para establecer las evaluaciones en función de cinco valores numéricos pertenecientes a las alternativas.

Este método consiste en pasar unas cifras numéricas a la escala de Saaty donde no podemos determinar la importancia de un valor numérico respecto a los demás, ya que sería algo muy subjetivo. Por ejemplo, para conseguir una evaluación del alcance, no disponemos de ningún razonamiento o explicación para establecer una de las cuatro posibilidades que hay desde 1 (igual de importante) hasta 9 (extremadamente más importante) en la escala. Es decir, si un obús tiene un alcance de 10 km frente a otro de 15 km, decir que el de segundo es ligeramente más importante que el primero sería algo muy subjetivo teniendo que cuenta que pueden existir otros obuses de 12 km o 50 km. En este caso, tampoco habría un razonamiento objetivo decidir que el obús de 50 km es extremadamente más importante o mucho más importante que el de 10 km o el de 12 km.

A continuación, vamos a emplear este método con el alcance. El alcance es uno de los subcriterios donde es necesario emplear estos cálculos para obtener unos valores razonables. Para empezar, establecemos unos valores mínimos y máximos. Establecemos como valor mínimo 20 y como valor máximo 70 (estos valores se acercan al alcance más bajo y alto de los candidatos). La diferencia entre ambos valores es de 50, que dividido entre 4 (hay cuatro fases de "saltos") da un valor de 12,5. Este valor numérico será empleado en cada operación para determinar el número de "saltos" en la escala de Saaty.

Por ejemplo, para comparar el alcance entre el PzH 2000 y el M109 A7 se conoce que sus alcances son de 60 km y 28 km respectivamente. Su diferencia es de 32 km, que si se divide entre 12,5 (valor establecido por la diferencia del valor máximo y mínimo) da un resultado de 2,5600. Redondeando a 3 este valor nos indica el número de fases que aplicaremos en la escala de Saaty. Concluimos que el PzH 2000 tiene un alcance mucho más importante que el M109 A7.

Límite Mínimo	20,00	Alternativa A:	60,00
Límite Máximo	70,00	Alternativa B:	28,00
Distancia de cada "salto"	12,50		
		A frente a B: (medido en saltos)	2,5600

Figura 26. Cálculo de saltos para la escala de Saaty. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran las puntuaciones de los candidatos respecto a los subcriterios de **características de combate**.

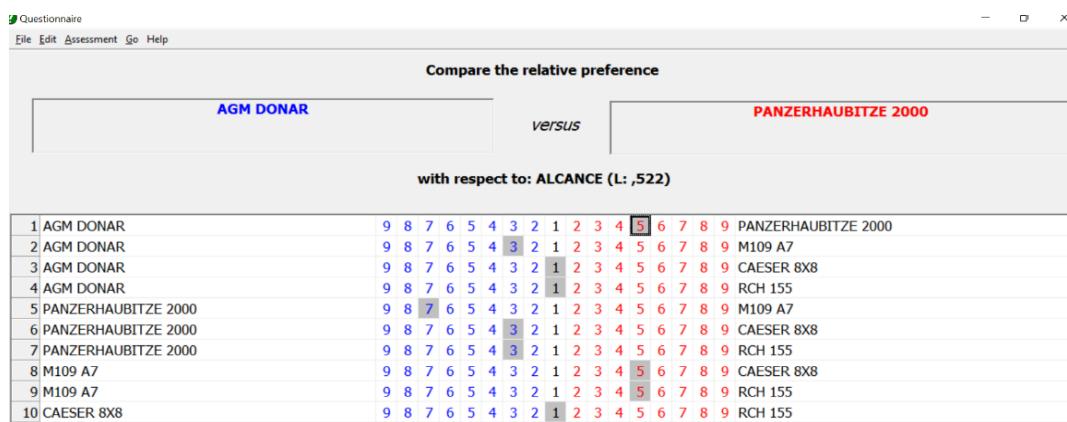


Figura 27. Puntuaciones en alcance. Fuente: Expert Choice 11.

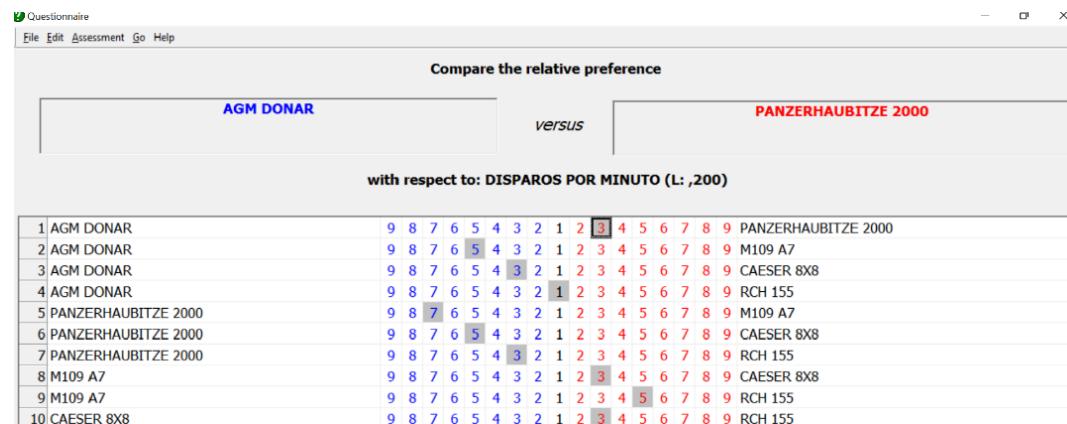


Figura 28. Puntuaciones de disparos por minuto. Fuente: Expert Choice 11.

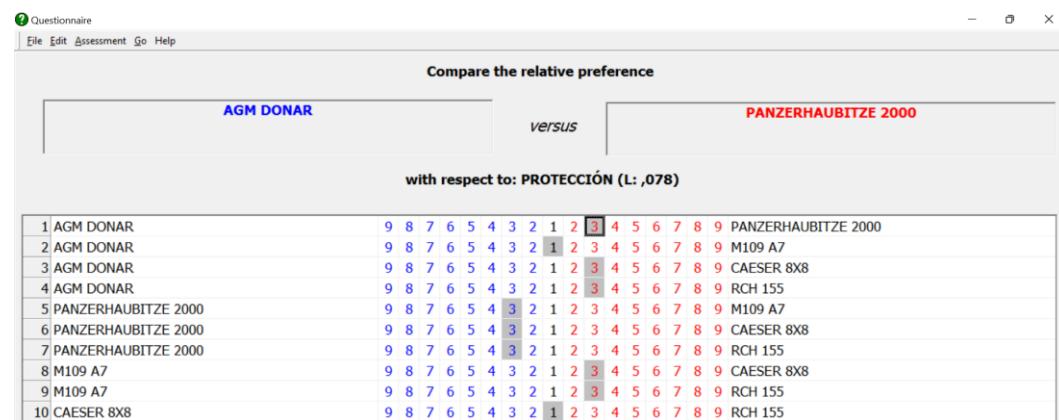


Figura 29. Puntuaciones de protección. Fuente: Expert Choice 11.

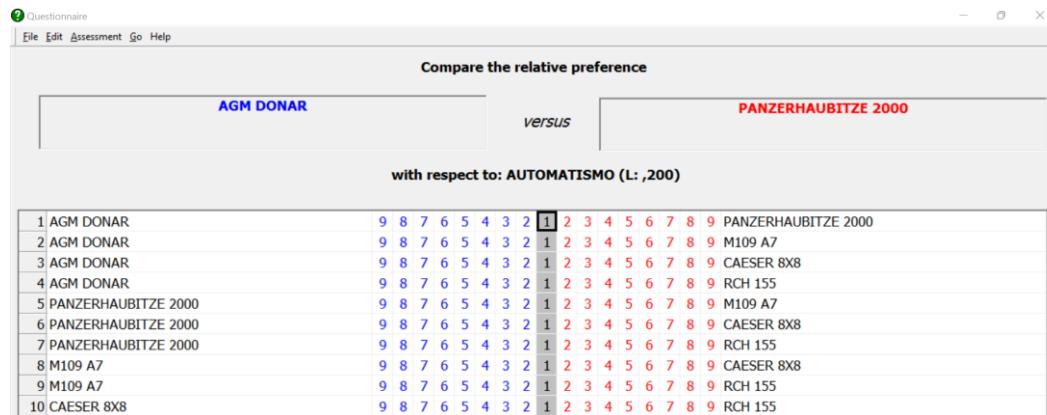


Figura 30. Puntuaciones de automatismo. Fuente: Expert Choice 11.

En la figura 30 se observa que todos los obuses son "igual de importante" entre ellos para el caso del subcriterio automatismo. Esto es debido a que los obuses modernos ya disponen de sistemas automáticos que reducen la tripulación de la pieza.

En segundo lugar, se muestra los resultados respecto a los subcriterios de **movilidad**.

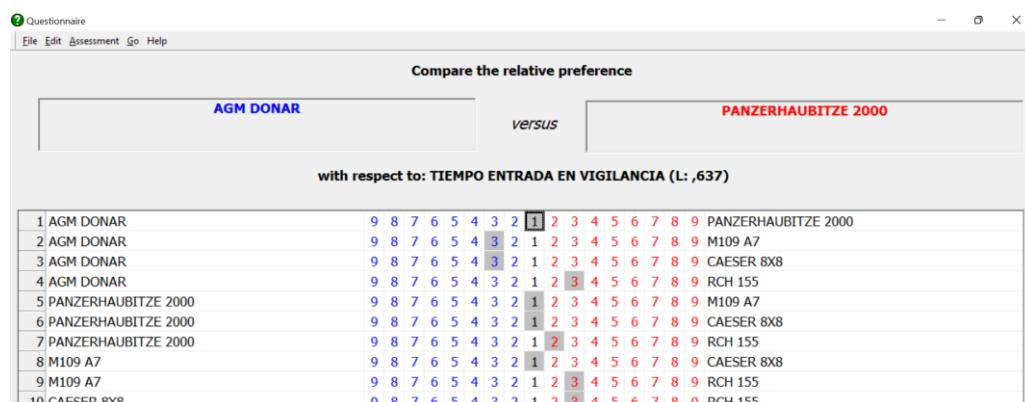


Figura 31. Puntuaciones de tiempo entrada en vigilancia. Fuente: Expert Choice 11.

En la figura 31 se observa que el AGM donar y el Panzerhaubitze son "igual de importantes" (1) para el tiempo de entrada en vigilancia. De este modo se procede con los demás sistemas de armas.

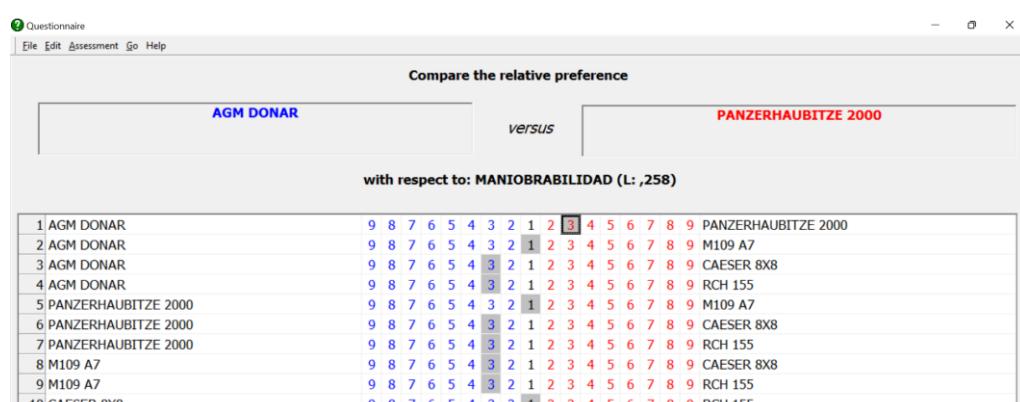


Figura 32. Puntuaciones de maniobrabilidad. Fuente: Expert Choice 11.

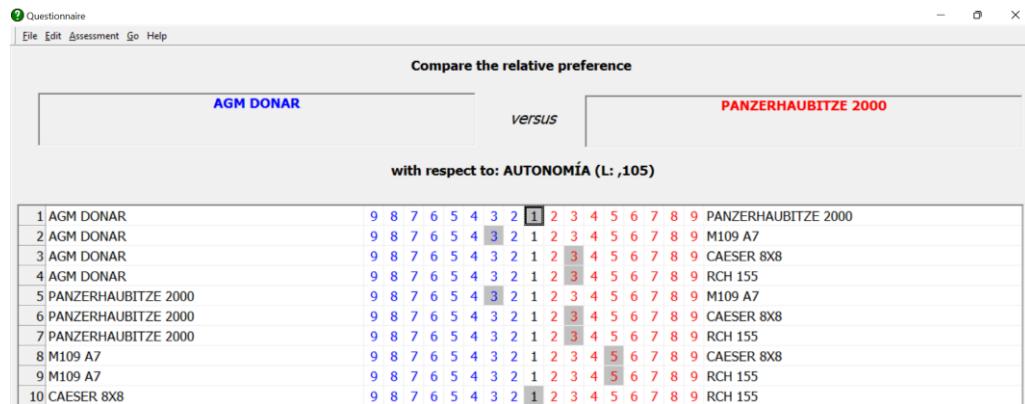


Figura 33. Puntuaciones de autonomía. Fuente: Expert Choice 11.

Por último, los resultados obtenidos respecto a los subcriterios de **apoyo logístico** quedan de la siguiente manera.

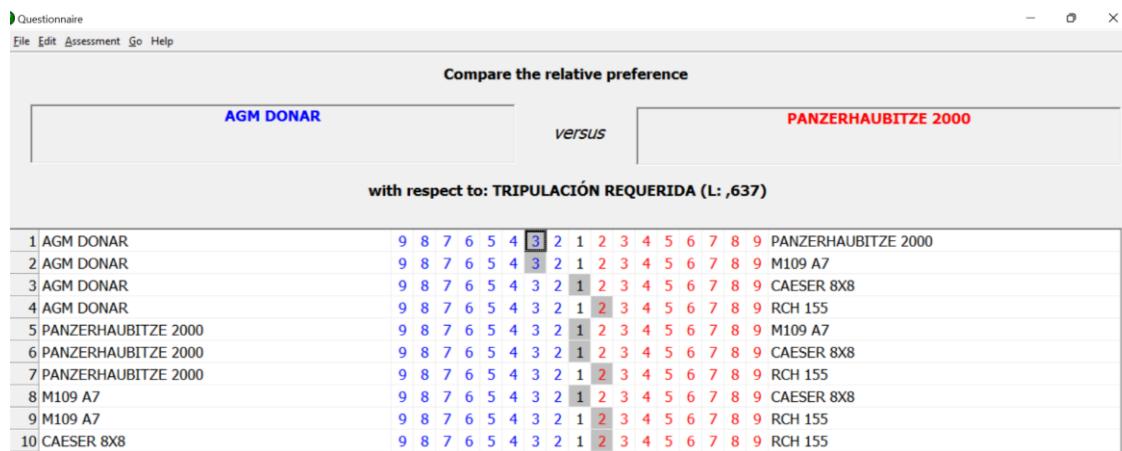


Figura 34. Puntuaciones de tripulación requerida. Fuente: Expert Choice 11.

La tripulación requerida en el obús AGM DONAR es "más importante" (3) que en el Panzerhaubitze 2000. Se procede igual en los demás subcriterios.

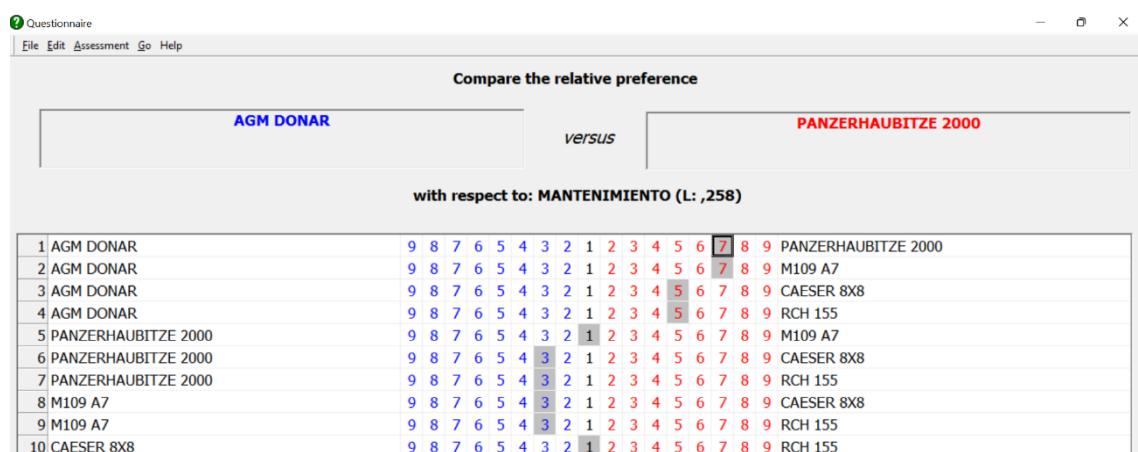


Figura 35. Puntuaciones de mantenimiento. Fuente: Expert Choice 11.

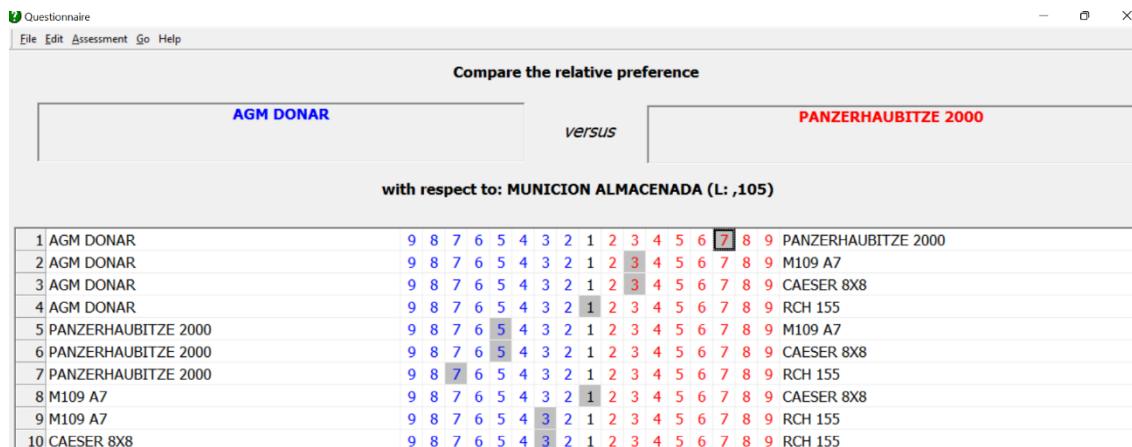


Figura 36. Puntuaciones de munición almacenada

5.2.4 Cuarta etapa: Jerarquización de las alternativas

En la última etapa del método AHP, se obtiene la matriz de decisión, donde se pueden observar todos los resultados del proceso. En la figura 37 se puede observar como la alternativa ganadora es el **Panzerhaubitze 2000** con un 30,3%. Una diferencia no muy grande entre los demás candidatos. Por detrás se encuentra el obús RCH 155 con un 24,7% y en último lugar el M109 A7 con un 11,3%.

Las **características de combate** han sido determinantes para la alternativa ganadora. El obús RCH 155 es la alternativa que más cerca se queda de la ganadora. Esto es debido a que el obús RCH 155 está basado en la tecnología del PzH 2000 pero con alguna diferencia sustancial. El M109 A7 tiene buenos resultados en cuanto a **movilidad** y **apoyo logístico**, pero su valoración en el criterio con más peso es muy inferior a las demás alternativas. El CAESER 8X8 y el AGM DONAR son dos obuses muy equilibrados pero que no llegan a destacar en ningún ámbito respecto a la alternativa ganadora.

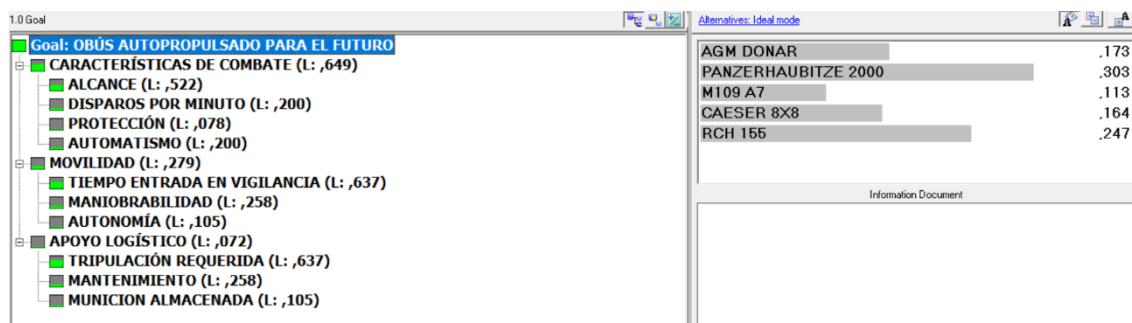


Figura 37. Captura de la alternativa ganadora. Fuente: Expert Choice 11.

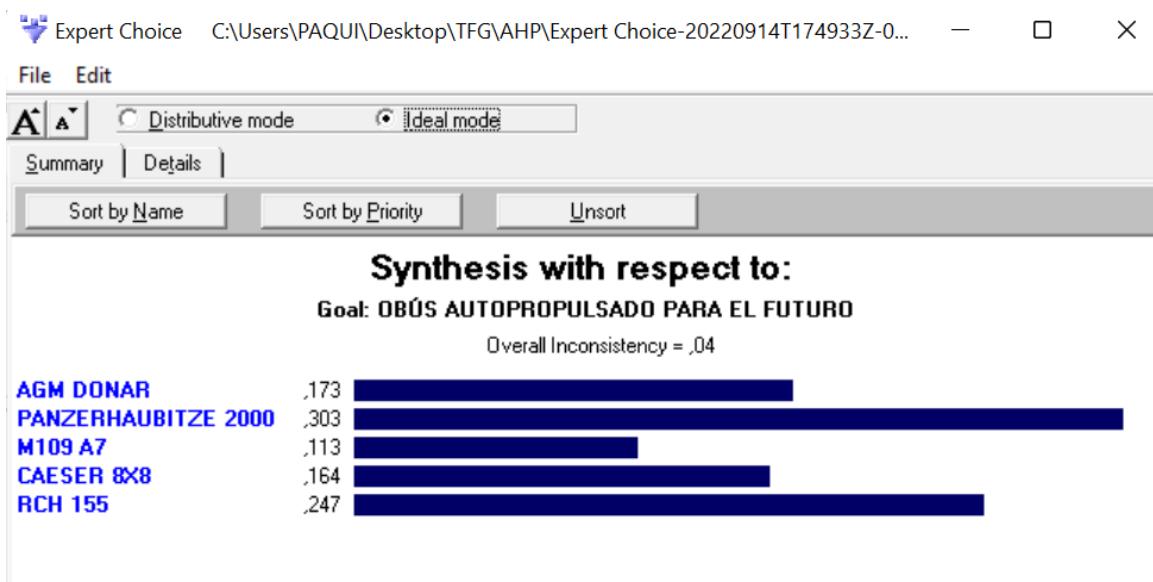


Figura 38. Alternativa ganadora. Fuente: Expert Choice 11

Por último, la RI es de 0,02 (2%), lo que representa una evaluación coherente y consistente por parte del grupo de expertos.

A continuación, se muestra la matriz de decisión final (figura 39) con todos los resultados del proceso realizado para la sustitución del obús M109. En el nivel 1 (level 1 en la matriz), aparecen los criterios con sus respectivos porcentajes. En el nivel 2, se encuentran los subcriterios con sus respectivos porcentajes. En la siguiente columna se puede observar todas las alternativas agrupadas en cada subcriterio con sus respectivas ponderaciones y, por último, la última columna muestra los porcentajes totales adquiridos en cada subcriterio.

Por ejemplo, en el subcriterio alcance aparecen todos los porcentajes de los candidatos. El porcentaje del obús RCH 155 es de '0,057' (5,7%). La suma total de los porcentajes del subcriterio alcance supone el 34% que, sumando los valores de los demás subcriterios, se obtiene el valor de 64,9% que es la ponderación del criterio de **características de combate**.

En el criterio **movilidad**, se ha obtenido un porcentaje de 27,9%. Dentro de ese porcentaje están divididos las ponderaciones de los subcriterios de **movilidad**: tiempo entrada en vigilancia (63,7%), maniobrabilidad (25,8%) y autonomía (10,5%).

Cada obús ha recibido un valor basado en la escala de Saaty tras aplicar la metodología AHP. Siguiendo con el ejemplo de antes, el subcriterio autonomía es el que tiene la ponderación más baja respecto a los demás subcriterios de **movilidad**. Como consecuencia, los valores de los obuses (AGM Donar 0,4%, Panzerhaubitze 0,4%, M109 A7 0,2%, CAESAR 8X8 1% y RCH 155 1%) son muy reducidos y entre ellos suman el 3%. Este 3% corresponde al 10,5% del subcriterio autonomía mencionado anteriormente, que sumando los valores de los totales de los demás subcriterios se llega al porcentaje del criterio de **movilidad** de 27,9%.

Del mismo modo, sumando los valores de los subcriterios tripulación requerida (4,6%), munición almacenada (1,9%) y mantenimiento (0,6%), se obtiene el porcentaje correspondiente al **apoyo logístico** (7,1%).



Level 1	Level 2	Alt:	Pty
Percent CARACTERÍSTICAS DE COMBATE (L: ,649)	Percent ALCANCE (L: ,522)		64,9
		AGM DONAR	,046
		PANZERHAUBITZE	,164
	ALCANCE (L: ,522)	M109 A7	,015
		CAESER 8x8	,057
		RCH 155	,057
CARACTERÍSTICAS DE COMBATE (L: ,649)	Percent DISPAROS POR MINUTO (L: ,200)		34,0
		AGM DONAR	,022
		PANZERHAUBITZE	,049
	DISPAROS POR MINUTO (L: ,200)	M109 A7	,006
		CAESER 8x8	,011
		RCH 155	,042
	Percent PROTECCIÓN (L: ,078)		4,9
		AGM DONAR	,004
		PANZERHAUBITZE	,021
	PROTECCIÓN (L: ,078)	M109 A7	,004
		CAESER 8x8	,010
		RCH 155	,010
	Percent AUTOMATISMO (L: ,200)		13,0
		AGM DONAR	,026
		PANZERHAUBITZE	,026
	AUTOMATISMO (L: ,200)	M109 A7	,026
		CAESER 8x8	,026
		RCH 155	,026
Percent MOVILIDAD (L: ,279)			28,0
	Percent TIEMPO ENTRADA EN VIGILANCIA (L: ,637)		17,7
MOVILIDAD (L: ,279)		AGM DONAR	,040
		PANZERHAUBITZE	,027
	TIEMPO ENTRADA EN VIGILANCIA (L: ,637)	M109 A7	,020
		CAESER 8x8	,020
		RCH 155	,070
	Percent MANIOBRABILIDAD (L: ,258)		7,2
		AGM DONAR	,011
		PANZERHAUBITZE	,022
	MANIOBRABILIDAD (L: ,258)	M109 A7	,011
		CAESER 8x8	,014
		RCH 155	,014
	Percent AUTONOMÍA (L: ,105)		3,0
		AGM DONAR	,004
		PANZERHAUBITZE	,004
	AUTONOMÍA (L: ,105)	M109 A7	,002
		CAESER 8x8	,010
		RCH 155	,010
Percent APOYO LOGÍSTICO (L: ,072)			7,1
	Percent TRIPULACIÓN REQUERIDA (L: ,637)		4,6
APOYO LOGÍSTICO (L: ,072)		AGM DONAR	,012
		PANZERHAUBITZE	,006
	TRIPULACIÓN REQUERIDA (L: ,637)	M109 A7	,006
		CAESER 8x8	,007
		RCH 155	,015
	Percent MANTENIMIENTO (L: ,258)		1,9
		AGM DONAR	,001
		PANZERHAUBITZE	,006
	MANTENIMIENTO (L: ,258)	M109 A7	,006
		CAESER 8x8	,003
		RCH 155	,003
	Percent MUNICION ALMACENADA (L: ,105)		0,6
		AGM DONAR	,000
		PANZERHAUBITZE	,004
	MUNICION ALMACENADA (L: ,105)	M109 A7	,001
		CAESER 8x8	,001
		RCH 155	,000

Figura 39. Matriz final de la metodología AHP. Fuente: Expert Choice 11.



5.3 Análisis de sensibilidad

Tras finalizar la metodología AHP, se va a analizar la robustez del PzH 2000 como ganador frente a posibles cambios en los pesos o importancia de cada uno de los criterios. Estos criterios han sido determinados por los expertos, y aunque la valoración ofrecida por ellos es la más verdadera, no deja de ser una opinión subjetiva. Por ello, con un análisis de sensibilidad comprobamos si otra alternativa pudiera ser la ganadora modificando ligeramente las ponderaciones establecidas. Para la ejecución de este apartado se ha utilizado el mismo programa para realizar el método AHP.

En primer lugar, vamos a modificar los pesos de los tres criterios. Anteriormente, las **características de combate** tenían un valor del 64,9%, la **movilidad** un valor del 22,9% y por último el **apoyo logístico** con un valor del 7,2%. El principal motivo de la elección del PzH 2000, ha sido por sus buenos resultados en las **características de combate** a pesar de ser superado en otros subcriterios. La importancia de **movilidad** y características de combate se modifica y se establece que son más importantes (según la escala de Saaty) que el **apoyo logístico**.

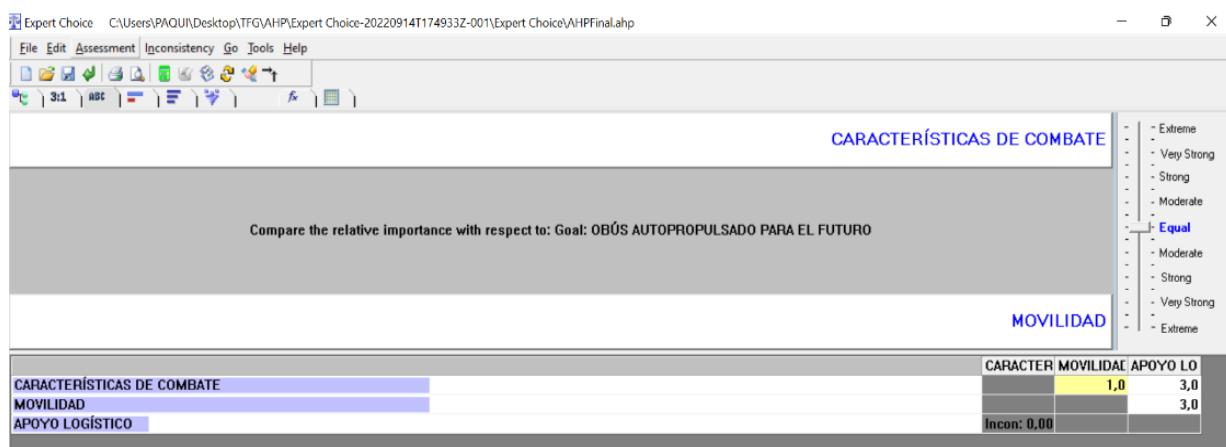


Figura 40. Captura de las modificaciones de los criterios. Fuente: Expert Choice 11.

A continuación, se muestra en la gráfica donde el PzH 2000 sigue siendo la alternativa ganadora a pesar de la modificación. El motivo de esto es la mejor puntuación que tiene en todos los subcriterios de características de combate, mientras que el RCH 155 que es la alternativa que más se ha acercado, solo tiene ventaja en dos subcriterios de movilidad. En definitiva, todos los cambios anteriores siguen siendo válidos para reafirmar que la alternativa es la verdadera ganadora del método con los datos proporcionados por los expertos.

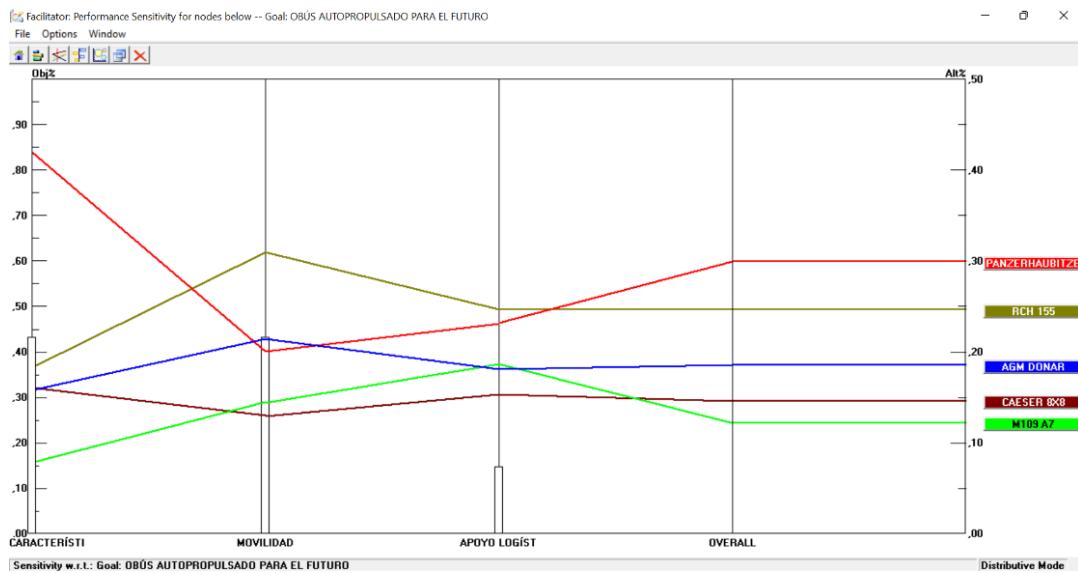


Figura 41. Gráfica del resultado de las modificaciones. Fuente: Expert Choice 11.

En segundo lugar, modificaremos las ponderaciones de los subcriterios de características de combate en particular, los dos subcriterios más importantes. Reduciremos la importancia del alcance y le daremos un mayor peso al automatismo.

Anteriormente, el alcance tenía un valor del 52,2%, mientras que el automatismo tenía un valor del 20%.

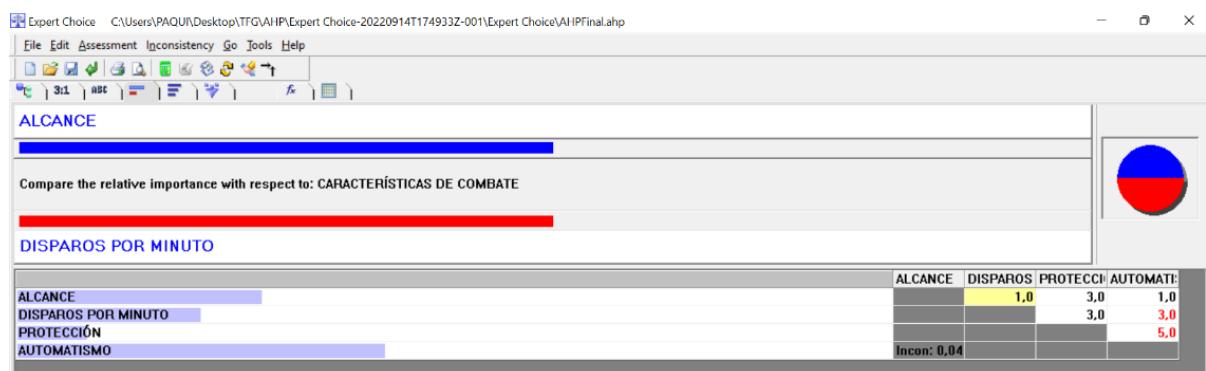


Figura 42. Captura de las modificaciones de subcriterios. Fuente: Expert Choice 11.

Según la figura 41, los cambios producidos no son pequeños, ya que ahora el subcriterio automatismo tiene más valor que el alcance.

Nos encontramos ante un nuevo sistema de armas ganador. El RCH 155 es la alternativa ganadora tras seguir variando los pesos. Para que esto ocurra tiene que producir una variación muy grande en la importancia de los subcriterios. Se muestra la importancia de aumentar el peso del automatismo, donde las puntuaciones de cada obús con respecto a ese subcriterio están igualadas. Aun realizando variaciones de tales dimensiones, el obús RCH 155 consigue alcanzar de manera ajustada al PzH 2000.

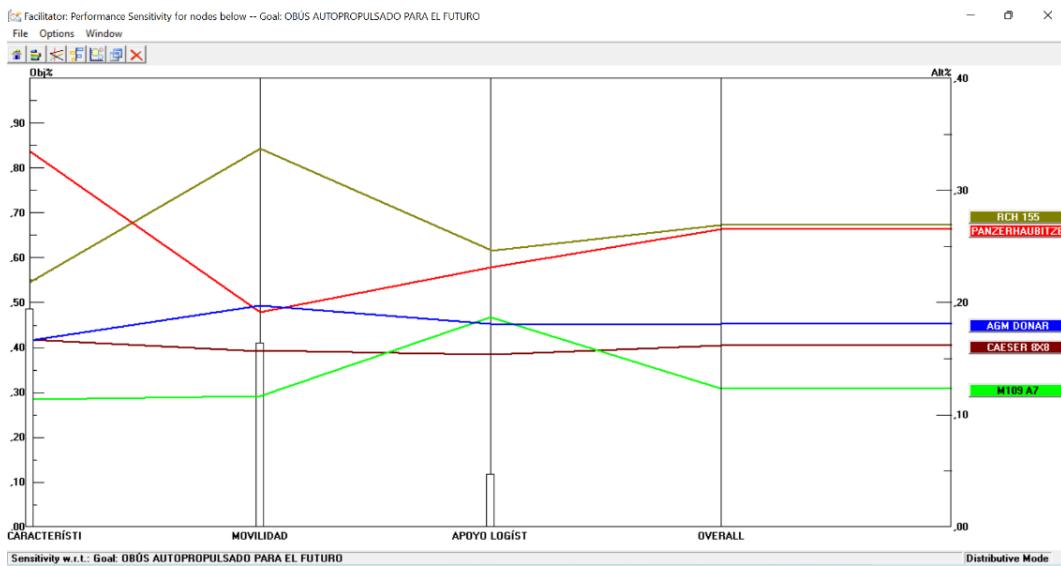


Figura 43. Gráfica con los resultados de todas las modificaciones. Fuente: Expert Choice 11.

Como conclusión del análisis de sensibilidad, solo una alternativa ha sido capaz de acercarse y alcanzar a la alternativa ganadora. Esto ocurre cuando realizamos modificaciones grandes de los pesos de los subcriterios. En definitiva, el objetivo de este análisis se cumple al reafirmar que el Panzerhaubitze 2000 es la mejor alternativa tras variar ligeramente los pesos de los criterios. Este análisis refuerza los datos proporcionados por los expertos.

5.4 Análisis DAFO del sistema de armas elegido.

El análisis DAFO, es un “Método empleado para determinar las fortalezas y debilidades internas y las oportunidades y amenazas externas.” (Heizer y Render, 2009).

Por último, se ha obtenido el PzH 2000 como el material autopropulsado más idóneo para las unidades de ACA. Para conocer las puntos fuertes y débiles de este sistema de armas, se ha llevado a cabo un análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (DAFO) para completar de forma cualitativa el análisis de este obús autopropulsado. El análisis es el siguiente:

Debilidades

- No es aerotransportarlo con A400M, quitándole flexibilidad a la hora de desplegar en ZO en el exterior.

Amenazas

- El escaso presupuesto del ET puede ralentizar el proceso de compra llegando incluso a no realizarse.
- La suspensión de estos obuses está compuesta por amortiguadores y barras de torsión. Un fallo o rotura de este último puede dejar completamente inoperativo el ATP.

Fortalezas

- Es uno de los obuses más capaces en cuanto a alcance y precisión. A esto hay que sumar la posibilidad de usar munición especial hace que el PzH 2000 incremente estas características.
- Tiene una cadencia de disparo máxima muy elevada llegando a disparar 10 proyectiles en 60 segundos. A su vez, tiene una capacidad de almacenaje de 60 proyectiles.



- Dispone de un sistema de posicionamiento inercial y navegación GPS, para conseguir gran precisión y eliminar el error humano.

- Tiene una dotación de 5 personas, siendo 3 los sirvientes suficientes para su operación

Oportunidades

- El hecho de que el PzH 2000 esté montado sobre una barcaza de Leopard 2, es una clara ventaja para el ejército español. Unificar materiales que ya dispone el ET en dotación (en unidades de carros), supondría una mejora mantenimiento del material y menos gastos económicos.

- Su elevada potencia de fuego y movilidad y blindaje le otorgan la posibilidad de emplearse en ZO.

- Está al principio de su vida útil ya que es un material reciente.

- Las cadenas le otorgan movimiento por cualquier terreno sin importar las condiciones meteorológicas para el acompañamiento a las unidades de maniobra.

- Está diseñado para futuras actualizaciones.

Tabla 2. Análisis DAFO del Panzerhaubitze 2000. Fuente: Elaboración propia.

PANZERHAUBITZE 2000	
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • NO aerotransportable (A400M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Escaso presupuesto del ET para su adquisición. • Inoperatividad de la pieza cadenas al producirse una rotura.
Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Gran alcance y posible utilización de munición asistida. • Cadencia de disparo elevada. • Poco personal requerido para su operación. • Sistema inercial de navegación y GPS. 	<ul style="list-style-type: none"> • Repuestos y mejor mantenimiento (barcaza Leopard). • Gran rendimiento en ZO por su capacidad de apoyo en el combate. • Posibilidad de actualizaciones en el futuro. • Maniobrabilidad elevada debido a su tren de rodaje. • Material reciente.



6 CONCLUSIONES

El presente trabajo, tenía como objetivo principal elegir un material ATP idóneo para poder integrarlo a las unidades de ACA, debido al material obsoleto en dotación del ET. Dicho objetivo se ha logrado, siendo el obús Panzerhaubitze 2000 el sistema de armas elegido tras la aplicación de la metodología AHP.

Durante la realización del TFG, se ha constatado los problemas que sufre el veterano M109 A5E y la inferioridad en cuanto a sus capacidades técnicas y tácticas respecto a otros obuses existentes. Por ello, se constata que la versión del obús A5E debe ser sustituida desde el punto de vista operativo. Actualmente se conoce la importancia que tienen los apoyos de fuego debido al conflicto bélico entre Ucrania y Rusia. No tener la capacidad operativa requerida, lleva a las unidades de ACA a un segundo plano, teniendo una escasa participación en misiones internacionales. Sin embargo, el PzH 2000 cumple esas capacidades requeridas por la OTAN para su despliegue en ZO. La Guerra de Ucrania, iniciada en febrero de 2022, donde el PzH 2000 ha tenido un papel importante al impedir el avance de las tropas rusas.

Para conocer a fondo el M109 A5E, se llevó a cabo una profunda descripción destacando sus principales problemas y su utilidad en el futuro. Seguidamente, se presentaron los obuses candidatos según las encuestas realizadas al personal especializado. Tras las descripciones realizadas de dichos obuses, se llega a la conclusión de que España tiene la necesidad de renovar la artillería autopropulsada para hacer frente a los futuros escenarios de conflicto.

La ACA debería prepararse para operaciones a gran escala y conseguir la potencia de fuego que se requiere en zona de operaciones. En el presente trabajo se ha ofrecido una propuesta de adquisición mediante el análisis multicriterio AHP. Tras las encuestas realizadas, se obtuvo el PzH 2000 como material idóneo para satisfacer a las unidades debido a sus capacidades tácticas y técnicas ofrecidas por este sistema de armas. Por otro lado, el hecho de que el obús posea la barcaza del carro de combate Leopard sería un punto positivo para la realización de labores de mantenimiento, ya que la consecución de repuestos y el conocimiento el material, agilizaría el trabajo de los escalones de mantenimiento.

El principal inconveniente es el coste económico que supondría la modernización de la ACA. Desde la situación económica sufrida debido por el COVID-19, el gasto en Defensa no es una prioridad para el gobierno, siendo las principales inversiones a unidades como la UME que tienen misiones en el interior del país para garantizar la seguridad de este.

Con respecto a líneas futuras, sería importante realizar un estudio para implementar nuevos obuses sobre ruedas que acompañen a las unidades de maniobra. De este modo, los obuses sobre ruedas acompañarían a las brigadas medias, mientras que los obuses sobre cadenas acompañarían a las brigadas pesadas. Ambos tipos de obuses cumplirían sus respectivas misiones según las características exigidas, como la necesidad de moverse por cualquier tipo de terreno o la de tener mayor velocidad.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Academia de Artillería, 2018. Memorial de Artillería Nº 174/2.

Alcazar Segura, A., 2013. *El grupo de Artillería Autopropulsada y su papel en el Sáhara*. Disponible en: <https://observatorio.cisde.es/archivo/7412/> [Último acceso: 20 septiembre 2022].

Aleu Puerto, F. D., 2020. Presente y futuro de la Artillería de Campaña y de Costa en España. Ejército, Issue 956, pp. 44-51.

Anon., 2006. *Military-Today.com*. Disponible en: <https://www.military-today.com/>

Anon., 2012. Corpo. Available at: https://copro.com.ar/Obus_M109.html [Último acceso: 15 09 2022].

Carrasco, B., 2022. *InfoDefensa*. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3487332/espana-despliega-primeravez-exterior-artilleria-pesada-ante-amenaza-rusa> [Último acceso: 15 10 2022].

Ejercito de Tierra, 2015. Apoyos de Fuego. PD3-315. *Mando de Adiestramiento y Doctrina*.

Ejercito de Tierra, 2018. Empleo de la Artillería de Campaña. *Mando de Adiestramiento y Doctrina*.

Fernandez Martinez, J. C., 2020. Presente y futuro de la Artillería de Campaña y de Costa en España. *Ejercito*, Issue 956, pp. 32-38.

KMW, s.f. *kmweg*. Disponible en: <https://www.kmweg.com/systems-products/tracked-vehicles/artillery/pzh-2000/> [Último acceso: Octubre 2022].

KNDS, G. N., 2019. *Nexter*. Disponible en: <https://www.nexter-group.fr/en>

Ministerio de Defensa. Ejército de Tierra, 2014. Glosario de Términos Militares. *Mando de adiestramiento y Doctrina..*

Ministerio de Defensa. Ejército de Tierra, 2015. Apoyos de fuego.. *Mando de Adiestramiento y Defensa. PD3-315..*

Ministerio de Defensa. Ejército de tierra, 2018. Entorno operativo terrestre futuro 2035. *Mando de Adiestramiento y Doctrina..*

Ministerio de Defensa. Ejercito de Tierra, 2019. Pelotón de Sirvientes del Obús M-109A5E. *Mando de Adiestramiento y Doctrina MI-302..*

Ministerio de Defensa. Ejèrcito de Tierra, 2018. Empleo de la Artillería de Campaña. *Mando de Adiestramiento y Doctrina. PD4-304..*

Ministerio de Defensa, 2011. Bocas de Fuego ACART-FM-002. *Mando de Adiestramiento y Doctrina..*

Ministerio de Defensa, s.f. *ejercito.defensa.gob*. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/Armamento_pesado_veh_combate/obus_ATP_M109_A5E.html [Último acceso: Octubre 2022].



Ministerio de Defensa, 2009. Materiales ATP. ACART-MT075. *Mando de Adiestramiento y Defensa..*

Ruiz López, C. L. & Balmori Abella, J. M., s.f. *Empleo del Análisis Multicriterio (AHP) en el Proceso de Planeamiento Logístico*, Zaragoza: s.n.



ANEXOS



Anexo I: Operadores del obús M109

Versión	País y número de obuses
M109	Libia: 17 Turquía: 18
M109 A1	Yibuti: 10 Etiopía: 17 Grecia: 51 Irán: 440 Kuwait: 5 Marruecos: 44 Omán: 15 Perú: 12 Suiza: 224 Emiratos Árabes Unidos: 40
M109 A2/A3	Brasil: 40 Dinamarca: 62 Grecia: 84 Egipto: 84 Italia: 221 Noruega: 14 Jordania: 356 Arabia Saudí: 60 Túnez: 20 España: 6 (Armada) Líbano: 12 Noruega: 14
M109 A4	Bélgica: 64 Marruecos: 4
M109 A5E	España: 96 Marruecos: 60 Grecia: 12 Tailandia: 20 Portugal: 18 Israel: 600 Irak: 24 Pakistán: 115 Egipto: 201



	Chile: 48
	Brasil: 36
M109 A6/17 Paladin	Estados Unidos: 929

Tabla 3. Países con obuses M109. Fuente: Copro.com.ar



Anexo II: Características técnicas del ATP M109 A5E

Armamento secundario	12,7 mm
Blindaje	5,56 mm
Calibre	155 mm
Longitud del tubo	39 calibres
Rango de elevación	1200 milésimas artilleras
Cadencia Máxima	4 dpm
Munición especial	Excalibur
Almacenaje proyectiles	36 proyectiles
Peso	24,4 Tn
Longitud	9,17 m
Anchura	3,15 m
Altura	3,3 m
Velocidad máxima	56 km/h
Autonomía	340 km
Potencia motor	302 kW
Aerotransportable	SI
Tripulación	6 personas
Carga automática	NO
Tiempo entrada en vigilancia	Superior a 60 segundos
Modelo chasis	M182
Fabricante	BAE Systems
Alcance	24 km
Sistema MRSI	NO
Navegación GPS	NO
Navegación inercial	NO
Visión nocturna	SI

Tabla 4. Características obús M109 A5E. Fuente: BAE Systems



Anexo III: Características técnicas de los participantes en la metodología AHP.

AGM Donar

Armamento secundario	12,7 mm
Blindaje	5,56 mm
Calibre	155 mm
Longitud del tubo	52 calibres
Rango de elevación	1150 milésimas artilleras
Cadencia Máxima	9 dpm
Munición Especial	NO
Almacenaje proyectiles	30 proyectiles
Peso	36 Tn
Longitud	10,3 m
Altura	3,2m
Anchura	2,99 m
Velocidad máxima	60 km/h
Autonomía	500 km
Potencia motor	530 kW
Aerotransportable	SI
Tripulación	3 personas
Carga automática	SI
Tiempo entrada en vigilancia	30 segundos
Modelo chasis	ASCOD 2
Fabricante	KMW
Alcance	56 km
Sistema MRSI	SI
Navegación GPS	SI
Navegación inercial	SI
Países en dotación	0

Tabla 5. Características AGM Donar. Fuente: KMW



PANZERHAUBITZE 2000

Armamento secundario	12,7 mm
Blindaje	7,62 mm
Calibre	155 mm
Longitud del tubo	52 calibres
Rango de elevación	1150 milésimas artilleras
Cadencia Máxima	10 dpm
Munición Especial	Vulcano, Excalibur
Almacenaje proyectiles	60 proyectiles
Peso	57 Tn
Longitud	11,7 m
Altura	3,4 m
Anchura	3,5 m
Velocidad máxima	70 km/h
Autonomía	420 km
Potencia motor	736 kW
Aerotransportable	NO
Tripulación	5 personas
Carga automática	SEMI
Tiempo entrada en vigilancia	30 segundos
Modelo chasis	Leopard 2
Fabricante	KMW
Alcance	56 km
Sistema MRSI	SI
Navegación GPS	SI
Navegación inercial	SI
Países en dotación	7

Tabla 6. Características PzH 2000. Fuente: KMW



M109 A7

Armamento secundario	12,7 mm
Blindaje	5,56 mm
Calibre	155 mm
Longitud del tubo	39 calibres
Rango de elevación	1200 milésimas artilleras
Cadencia Máxima	4 dpm
Munición Especial	Excalibur
Almacenaje proyectiles	39 proyectiles
Peso	38,1 Tn
Longitud	9,7 m
Altura	3,3 m
Anchura	3,9 m
Velocidad máxima	61 km/h
Autonomía	300 km
Potencia motor	500 kW
Aerotransportable	NO
Tripulación	4 personas
Carga automática	SI
Tiempo entrada en vigilancia	Inferior a 60 segundos
Modelo chasis	M109 A6
Fabricante	BAE Systems
Alcance	30 km
Sistema MRSI	SI
Navegación GPS	SI
Navegación inercial	SI
Países en dotación	1

Tabla 7. Características M109 A7. Fuente: BAE Systems



CAESAR 8X8

Armamento secundario	12,7 mm
Blindaje	7,62 mm
Calibre	155 mm
Longitud del tubo	52 calibres
Rango de elevación	1200 milésimas artilleras
Cadencia Máxima	6 dpm
Munición Especial	Bonus, Spacido
Almacenaje proyectiles	36 proyectiles
Peso	32 Tn
Longitud	12,3 m
Altura	3,1 m
Anchura	2,8 m
Velocidad máxima	90 km/h
Autonomía	600 km
Potencia motor	302 kW
Aereotransportable	SI
Tripulación	4 personas
Carga automática	SEMI
Tiempo entrada en vigilancia	Menos 60 segundos
Modelo chasis	8x8
Fabricante	Nexter Group
Alcance	56 km
Sistema MRSI	NO
Navegación GPS	SI
Navegación inercial	SI
Países en dotación	5

Tabla 8. CAESAR 8X8. Fuente: [Nexter](#)



RCH 155

Armamento secundario	12,7 mm
Blindaje	7,62 mm
Calibre	155 mm
Longitud del tubo	52 calibres
Rango de elevación	1150 milésimas artilleras
Cadencia Máxima	9 dpm
Munición Especial	Excalibur, Vulcano
Almacenaje proyectiles	30 proyectiles
Peso	39 Tn
Longitud	10,4 m
Altura	3,6 m
Anchura	2,99 m
Velocidad máxima	100 km/h
Autonomía	700 km
Potencia motor	530 kW
Aereotransportable	SI
Tripulación	2 personas
Carga automática	SI
Tiempo entrada en vigilancia	Inferior a 30 segundos
Modelo chasis	MLRS
Fabricante	KMW
Alcance	56 km
Sistema MRSI	SI
Navegación GPS	SI
Navegación inercial	SI
Países en dotación	0

Tabla 9. Características RCH 155. Fuente: KMW



Anexo IV: Encuesta para la elección de criterios y subcriterios.

Las encuestas han sido enviadas a oficiales, suboficiales y tropa destinada en el GACA XI. Estas encuestas fueron realizadas el mes de septiembre de 2022 durante el horario de instrucción de las baterías de armas. El personal elegido ha sido debido a su trayectoria en este grupo de artillería, concretamente en la primera y segunda batería. La antigüedad en los puestos tácticos de los artilleros, cabos, y suboficiales en la pieza han permitido sacar una conclusión acerca de los criterios y subcriterios necesarios para realizar el análisis AHP. Concretamente, los militares entrevistados han sido:

- 1 sargento jefe de pieza de la segunda batería ATP.
- 1 sargento jefe de pieza de la tercera batería ATP.
- 2 tenientes de la batería de plana. El primero en un puesto táctico como oficial de apoyos de fuegos y el segundo en el puesto de jefe de sección de topografía.
- 1 cabo calculador de la segunda batería ATP.
- 5 artilleros con un mínimo de dos años de antigüedad de la segunda batería ATP con puestos tácticos de: apuntador en elevación, apuntador en dirección, conductor y cargador.



Criterios a tener en cuenta para elegir una pieza autopropulsada para el futuro en las unidades de artillería

Debido a su trayectoria profesional ha sido seleccionado para responder al siguiente cuestionario relacionado con la artillería autopropulsada. En el siguiente cuestionario se pide un máximo de 10 criterios a tener en cuenta para seleccionar un obús. Escriba los criterios según su importancia siendo el primero el más importante.

Empleo / Puesto en la unidad *

Texto de respuesta corta

Criterion 1

Texto de respuesta larga

Criterion 2

Texto de respuesta larga

Criterion 3

Texto de respuesta larga

Criterion 4

Texto de respuesta larga



Criterio 5

Texto de respuesta larga



Criterio 6

Texto de respuesta larga



Criterio 7

Texto de respuesta larga



Criterio 8

Texto de respuesta larga



Criterio 9

Texto de respuesta larga



Criterio 10

Texto de respuesta larga



Posibles candidatos para la sustitución

Texto de respuesta larga



Anexo V: Encuestas de asignación de pesos a los criterios y subcriterios.

Estas encuestas realizadas por los expertos reflejan las ponderaciones de los criterios. Con un total de cinco diferentes respuestas para cada caso, se ha determinado la importancia que tiene un criterio respecto a otro. Por ejemplo, se ha obtenido cuatro votos **que características de combate** es 'ligeramente más importante que **movilidad**' y un voto que las **características de combate** son 'más importantes' que **movilidad**. El valor obtenido para aplicar el método AHP es '3'.

Asigne una puntuación a los criterios según la escala de Saaty										
Criterio A	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Criterio B
Características de combate			1	4						Movilidad
Características de combate	3	1	1							Apoyo logístico
Movilidad			5							Apoyo logístico

Asigne una puntuación a los subcriterios de las características de combate según la escala de Saaty										
Subcriterio A	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Subcriterio B
Alcance			4	1						dpm
Alcance	4	1								Protección
Alcance	3	1	1							Automatismo
dpm	1	4								Protección
dpm		4	1							Automatismo
Automatismo		5								Protección

Asigne una puntuación a los subcriterios de movilidad según la escala de Saaty										
Subcriterio A	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Subcriterio B
Tiempo entrada en vigilancia			1	4						Maniobrabilidad
Tiempo entrada en vigilancia	5									Autonomía
Maniobrabilidad	1	3	1							Autonomía


Asigne una puntuación a los subcriterios de apoyo logístico según la escala de Saaty

Subcriterio A	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Subcriterio B
Tripulación				5						Mantenimiento
Tripulación			3	2						Munición almacenada
Mantenimiento		1	4							Munición almacenada



Anexo VI: Encuestas de evaluación de las alternativas

Solo se mostrarán la evaluación de subcriterios subjetivos, ya que los que sean de valor numérico están realizadas mediante un cálculo matemático explicado en la tercera etapa del método AHP (apartado 5.2.3).

En estas encuestas se ha puntuado un valor en la escala de Saaty por parte de cada experto para determinar la importancia de los subcriterios respecto dos obuses candidatos. Con un total de cinco respuestas para cada ‘enfrentamiento’, se ha determinado un valor mediante la media de las respuestas.

¿Qué sistema de armas sería mejor en lo relativo a AUTOMATISMO?										
Obús A	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obús B
CAESER 8X8					5					PzH 2000
CAESER 8X8					5					M109 A7
CAESER 8X8					5					RCH 155
CAESER 8X8					5					AGM DONAR
PzH 2000					5					M109 A7
PzH 2000					5					RCH 155
PzH 2000					5					AGM DONAR
M109 A7					5					RCH 155
M109 A7					5					AGM DONAR
RCH 155					5					AGM DONAR

¿Qué sistema de armas sería mejor en lo relativo a PROTECCIÓN?										
Obús A	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obús B
CAESER 8X8						4	1			PzH 2000
CAESER 8X8				3	2					M109 A7
CAESER 8X8					4	1				RCH 155
CAESER 8X8				4	1					AGM DONAR
PzH 2000				5						M109 A7
PzH 2000			3	2						RCH 155
PzH 2000			4	1						AGM DONAR
M109 A7					2	3				RCH 155
M109 A7				4	1					AGM DONAR
RCH 155			4	1						AGM DONAR



¿Qué sistema de armas sería mejor en lo relativo a MANIOBRABILIDAD?

Obús A	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obús B
CAESER 8X8						5				PzH 2000
CAESER 8X8					3	2				M109 A7
CAESER 8X8				1	3	1				RCH 155
CAESER 8X8			3	1	1					AGM DONAR
PzH 2000				1	4					M109 A7
PzH 2000				4	1					RCH 155
PzH 2000				5						AGM DONAR
M109 A7				4	1					RCH 155
M109 A7				4	1					AGM DONAR
RCH 155					1	4				AGM DONAR

¿Qué sistema de armas sería mejor en lo relativo a MANTENIMIENTO?

Obús A	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obús B
CAESER 8X8						3	2			PzH 2000
CAESER 8X8						4	1			M109 A7
CAESER 8X8					4	1				RCH 155
CAESER 8X8				5						AGM DONAR
PzH 2000					5					M109 A7
PzH 2000				1	4					RCH 155
PzH 2000		4	1							AGM DONAR
M109 A7			4	1						RCH 155
M109 A7		3	2							AGM DONAR
RCH 155			4	1						AGM DONAR