



# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Aplicación de IA en el proceso de planeamiento de pequeñas  
unidades*

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**ALUMNO:** Jorge Sánchez Martínez

**DIRECTOR:** Sergio Borrallo Tirado

**CURSO ACADÉMICO:** 2024-2025

UniversidadeVigo





# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Aplicación de IA en el proceso de planeamiento de pequeñas  
unidades*

**Grado en Ingeniería Mecánica**

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General / Infantería de Marina

UniversidadeVigo



## **RESUMEN**

Este Trabajo de Fin de Grado presenta el desarrollo de una herramienta informática orientada a apoyar la toma de decisiones tácticas en el planeamiento de pequeñas unidades militares. El sistema, basado en lógica difusa, permite comparar la potencia de combate relativa entre fuerzas propias y enemigas y estimar las líneas de acción más probables del adversario ante una situación de combate convencional. Para ello, se ha parametrizado información doctrinal según variables como organización del terreno, adiestramiento, moral y experiencia, con el objetivo de trasladar conceptos cualitativos del ámbito militar a un entorno programable.

La aplicación ha sido diseñada íntegramente en Python, empleando reglas condicionadas por rangos de ventaja o desventaja, sin depender de modelos complejos de aprendizaje automático. Se ha validado su funcionamiento a través de escenarios ficticios y ejercicios doctrinales reales, demostrando que, con una correcta parametrización, el sistema genera salidas coherentes con el análisis táctico humano. Este proyecto representa un primer paso hacia el desarrollo de herramientas informáticas que reemplacen los procedimientos arcaicos que se siguen utilizando hoy en día, adaptadas a la doctrina nacional y que mejoren la eficiencia y la calidad del planeamiento militar.

## **PALABRAS CLAVE**

Inteligencia Artificial, Lógica difusa, Potencia de Combate, Línea de Acción, Organización del Terreno

# AGRADECIMIENTOS

En este pequeño apartado me gustaría agradecer a todas aquellas personas que me han prestado su ayuda de una forma u otra para la realización de este proyecto.

En primer lugar, agradecer al CC Borrallo, mi tutor, por su confianza y apoyo desde el inicio de este proyecto. A pesar de que mi enfoque se centraba en operaciones terrestres, un campo alejado de su especialidad en cuerpo general, y que en muchas ocasiones le planteaba dudas a horas intempestivas fuera de horario laboral, siempre me brindó su perspectiva y me animó a seguir adelante.

Agradezco enormemente al CC Valles por su disposición y tiempo dedicado a la revisión y mejora del código utilizado en este trabajo. Su apoyo, a pesar de no formar parte formal del TFG, fue fundamental para la consecución de los objetivos planteados.

No puedo dejar de agradecer a mi madre y a mi pareja por su apoyo y sus constantes recordatorios, especialmente durante el mes de enero. Su firme insistencia, aunque a veces difícil de aceptar, fue esencial para la culminación de este proyecto. De la misma forma, agradecer a mi padre por mandarme noticias al respecto del tema y darme su opinión conforme iba avanzando en el trabajo.

Por otro lado, en el ámbito laboral, me gustaría agradecer al Alférez Cuartero, un ejemplo de superación y de gestión del tiempo a imitar, por demostrarme con sus métodos como el trabajo y el descanso son perfectamente compatibles.

Agradecer a Jonny de Xao por su presencia y su contribución a formarme como oficial de infantería de marina durante los planeamientos a lo largo de todos estos 5 años. Por estar siempre presente en mi adiestramiento y por su compromiso a movilizarse a todos los campamentos, ya sean en Parga, Barbanza o incluso la Sierra del Retín.

A todos los integrantes de la “Patrulla A” por su resiliencia y comprensión en momentos difíciles ante la adversidad del combate, que me sirvieron de inspiración a la hora de afrontar este trabajo.

A toda la promoción 155 por la unión que siempre hemos demostrado y que se ha demostrado varias veces desde la operación “Grú mi Villano Favorito”. Sin vosotros no habría llegado hasta donde me encuentro hoy en día. “*Semper Letalis.*”





# CONTENIDO

|       |                                                                                   |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....                                                    | 4  |
| 1.1   | INTRODUCCIÓN .....                                                                | 4  |
| 1.2   | CONTEXTO Y RELEVANCIA .....                                                       | 4  |
| 1.3   | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                                  | 5  |
| 1.4   | OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS .....                                           | 6  |
| 2     | ESTADO DEL ARTE.....                                                              | 7  |
| 2.1   | ¿QUÉ ES LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL?.....                                          | 7  |
| 2.1.1 | Conceptos básicos de Inteligencia artificial y aprendizaje automático .....       | 7  |
| 2.1.2 | Diferencias fundamentales entre IA y software tradicional .....                   | 8  |
| 2.1.3 | Redes neuronales: Arquitectura y funcionamiento matemático .....                  | 9  |
| 2.1.4 | Aprendizaje automático o Machine Learning .....                                   | 10 |
| 2.1.5 | Deep Learning: Redes neuronales profundas y especializadas .....                  | 10 |
| 2.1.6 | Procesamiento del lenguaje natural (NLP) y modelos de lenguaje grandes (LLM)..... | 11 |
| 2.1.7 | La importancia crítica de los datos en IA .....                                   | 12 |
| 2.1.8 | Conjuntos borrosos, la IA en su mínima expresión.....                             | 13 |
| 2.2   | APLICACIONES DE LA IA EN EL ÁMBITO CIVIL .....                                    | 13 |
| 2.2.1 | Salud y medicina .....                                                            | 14 |
| 2.2.2 | Sector financiero .....                                                           | 14 |
| 2.2.3 | Gestión de recursos.....                                                          | 14 |
| 2.3   | APLICACIONES DE LA IA EN EL ÁMBITO MILITAR Y LA DEFENSA .....                     | 15 |
| 2.3.1 | Aplicaciones en ambiente OTAN y Unión Europea .....                               | 15 |
| 2.3.2 | Aplicaciones en ambiente BRICS: .....                                             | 16 |
| 2.3.3 | Aplicaciones en la Armada.....                                                    | 17 |
| 3     | DESARROLLO DEL TFG.....                                                           | 18 |
| 3.1   | INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA TÁCTICO .....                                            | 18 |
| 3.1.1 | Proceso de planeamiento en Pequeñas Unidades .....                                | 18 |
| 3.1.2 | Evaluación convencional de la potencia de combate .....                           | 19 |
| 3.1.3 | Evaluación convencional de la potencia de combate .....                           | 19 |
| 3.2   | MODELIZACIÓN DEL PROBLEMA .....                                                   | 20 |
| 3.2.1 | Definición de fuerzas propias y enemigas.....                                     | 20 |
| 3.2.2 | Factores multiplicativos en la potencia de combate .....                          | 21 |
| 3.2.3 | Factores comparativos de la potencia de combate relativa.....                     | 21 |
| 3.2.4 | Datos de entrada y parametrización.....                                           | 22 |
| 3.3   | INTRODUCCIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA TOMA DE DECISIONES: .....           | 25 |
| 3.3.1 | Aplicación de lógica difusa para evaluar escenarios tácticos.....                 | 25 |
| 3.3.2 | Definición de reglas y conjuntos difusos.....                                     | 26 |
| 3.3.3 | Proceso de cálculo y evaluación .....                                             | 30 |
| 3.3.4 | Desarrollo de la interfaz de usuario .....                                        | 34 |
| 4     | RESULTADOS Y VALIDACIÓN DE LA PRUEBA .....                                        | 38 |
| 4.1   | VALIDACIÓN DE RESULTADOS EN ESCENARIOS SENCILLOS .....                            | 38 |
| 4.1.1 | Escenario 1: ventaja clara .....                                                  | 38 |
| 4.1.2 | Escenario 2: desventaja clara.....                                                | 40 |
| 4.1.3 | Escenario 3: ligera ventaja.....                                                  | 42 |
| 4.2   | COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN ESCENARIOS DIDÁCTICOS: .....                         | 44 |
| 4.2.1 | Táctico A Fracha 3 de Octubre de 2024 .....                                       | 45 |
| 4.2.2 | Táctico nocturno Figueirido 23 de Enero de 2025 .....                             | 48 |
| 4.2.3 | Raid anfibio Cabo Udra 14 Febrero 2025: .....                                     | 51 |
| 5     | CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....                                                | 55 |
| 5.1   | CONCLUSIONES DE ESCENARIOS SENCILLOS .....                                        | 55 |
| 5.2   | CONCLUSIONES DE ESCENARIOS DIDÁCTICOS COMPLEJOS .....                             | 55 |
| 5.3   | POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....                                             | 56 |
| 6     | BIBLIOGRAFÍA .....                                                                | 58 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 2-1. ESQUEMA DE UNA DNN. FUENTE: WWW.IBM.COM.....                                                 | 9  |
| FIGURA 3-2. VALORES DE PC POR UNIDAD. FUENTE: OR5-014 MADOC.....                                         | 23 |
| FIGURA 3-3. VALORES DE PC POR UNIDAD ADAPTADA. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                              | 23 |
| FIGURA 3-4. VALORES DE FACTORES MULTIPLICATIVOS. FUENTE: OR5-014 MADOC.....                              | 24 |
| FIGURA 3-5. VALORES DE FACTORES MULTIPLICATIVOS ADAPTADOS. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                  | 24 |
| FIGURA 3-6. PROPORCIONES HISTÓRICAS DE PCR EN BASE AL TERRENO. FUENTE: OR5-014 MADOC.....                | 24 |
| FIGURA 3-7. ESQUEMA CONJUNTO BORROSO CMD. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                   | 26 |
| FIGURA 3-8. ESQUEMA CONJUNTO BORROSO OLIG. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                  | 27 |
| FIGURA 3-9. ESQUEMA CONJUNTO BORROSO OM. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                    | 27 |
| FIGURA 3-10. DEFINICIÓN DE PROBABILIDADES SEGÚN ORTE. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                       | 28 |
| FIGURA 3-11. REGLAS DE COMPORTAMIENTO DEFENDERSE. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                           | 28 |
| FIGURA 3-12. REGLAS DE COMPORTAMIENTO REFORZARSE. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                           | 29 |
| FIGURA 3-13. REGLAS DE COMPORTAMIENTO RETIRARSE. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                            | 29 |
| FIGURA 3-14. REGLAS DE COMPORTAMIENTO RETRASARNOS. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                          | 29 |
| FIGURA 3-15. TABLA VALORES PC POR UNIDAD ADAPTADA. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                          | 30 |
| FIGURA 3-16. MULTIPLICADOR ADIESTRAMIENTO. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                  | 31 |
| FIGURA 3-17. MULTIPLICADOR MORAL. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                           | 31 |
| FIGURA 3-18. MULTIPLICADOR EXPERIENCIA. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                     | 31 |
| FIGURA 3-19. FÓRMULA CÁLCULO PC DE CADA UNIDAD. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                             | 32 |
| FIGURA 3-20. FÓRMULA CÁLCULO PCR. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                           | 32 |
| FIGURA 3-21. FUNCIÓN DE INTERPRETACIÓN Y EXPOSICIÓN RESULTADOS VENTAJA CMD. FUENTE: CREACIÓN PROPIA..... | 33 |
| FIGURA 3-22. FUNCIÓN DESARROLLO LAS ENEMIGAS. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                               | 33 |
| FIGURA 3-23. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                | 34 |
| FIGURA 3-24. CREACIÓN DEL TÍTULO Y DIMENSIONES DE PANTALLA. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                 | 34 |
| FIGURA 3-25. CREACIÓN DEL FRAME PRINCIPAL. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                  | 35 |
| FIGURA 3-26. CREACIÓN DEL VARIABLES STRING. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                 | 35 |
| FIGURA 3-27. CREACIÓN DE RADIOBUTTONS. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                      | 35 |
| FIGURA 3-28. CREACIÓN DEL WIDGET SCROLLEDTEXT. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                              | 36 |
| FIGURA 3-29. CREACIÓN BOTÓN CALCULAR. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                       | 36 |
| FIGURA 3-30. VISTA PREVIA VADER. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                            | 36 |
| FIGURA 3-31. GENERACIÓN ALEATORIA DE RESULTADOS EN VADER. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                   | 37 |
| FIGURA 4-32. ESCENARIO DE VENTAJA CLARA. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                    | 39 |
| FIGURA 4-33. ESCENARIO DESVENTAJA CLARA. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                    | 41 |
| FIGURA 4-34. ESCENARIO DE VENTAJA LIGERA. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                   | 43 |
| FIGURA 4-35. ESCENARIO DE VENTAJA LIGERA 2. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                 | 44 |
| FIGURA 4-36. SALUTE A FRACHA. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                               | 46 |
| FIGURA 4-37. DRAWD A FRACHA. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                                | 46 |
| FIGURA 4-38. RESULTADOS VADER A FRACHA. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                     | 47 |
| FIGURA 4-39. SALUTE FIGUEIRIDO. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                             | 49 |
| FIGURA 4-40. DRAWD FIGUEIRIDO. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                              | 49 |
| FIGURA 4-41. RESULTADOS VADER FIGUEIRIDO. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....                                   | 50 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 4-42. SALUTE Y DRAWD UDRA. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.....    | 52 |
| FIGURA 4-43. RESULTADOS VADER UDRA. FUENTE: CREACIÓN PROPIA ..... | 53 |

# 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1 Introducción

En un entorno estratégico cada vez más marcado por la complejidad, el ritmo acelerado del cambio tecnológico y la necesidad de decisiones rápidas y eficaces, las Fuerzas Armadas —y en particular la Armada Española— se enfrentan al reto de adaptarse a nuevas formas de operar. La inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático y las técnicas de análisis avanzado de datos ofrecen herramientas prometedoras para mejorar la capacidad de respuesta ante situaciones tácticas cambiantes, reducir la incertidumbre en la toma de decisiones y optimizar el empleo de los recursos disponibles.

Este Trabajo de Fin de Grado se plantea como una primera aproximación al uso de la IA para apoyar el proceso de planeamiento militar a nivel táctico. El objetivo es diseñar e implementar una herramienta que, partiendo de parámetros doctrinales establecidos y mediante el uso de lógica computacional, permita valorar la situación de un enfrentamiento entre fuerzas propias y enemigas, estimando de forma automatizada las posibles líneas de acción del adversario. Esta propuesta busca sentar las bases para futuros desarrollos más complejos, integrando técnicas avanzadas de procesamiento de datos y modelos de decisión aplicables a operaciones militares reales, siempre dentro del marco doctrinal de la Armada Española.

## 1.2 Contexto y relevancia

La cuarta revolución industrial, impulsada por la convergencia de tecnologías como el big data, la inteligencia artificial (IA) y la computación en la nube, está transformando de manera acelerada sectores clave como la salud, la industria o las finanzas. Este cambio no es opcional ni reversible, y su impacto ya se proyecta con fuerza sobre el ámbito militar, donde comienza a explorarse estratégicamente cómo estas herramientas pueden mejorar la eficacia operativa. Para la Armada Española, institución con una larga tradición, pero abierta a la innovación, la adopción de la IA no solo es una evolución natural, sino una necesidad estratégica para mantener su capacidad de adaptación y respuesta en un entorno global cada vez más complejo.

Estas tecnologías están redefiniendo las reglas del juego en seguridad y defensa. La IA permite automatizar tareas repetitivas, aumentar la velocidad y precisión en la toma de decisiones, y liberar recursos humanos para centrarse en la conducción operativa y estratégica. Su aplicación es especialmente crítica en escenarios de alta carga informativa, donde la Armada necesita procesar grandes volúmenes de datos procedentes de sensores, plataformas y fuentes de inteligencia en tiempo real. La IA facilita la detección temprana de amenazas, la optimización de procedimientos y la coordinación de recursos, consolidándose como un factor clave para la superioridad operativa.

Además, su integración permitiría abordar retos estructurales como la gestión logística —uno de los mayores desafíos en el entorno militar— mediante planificación automatizada, mantenimiento predictivo y distribución inteligente de recursos. Sin embargo, esta transformación no está exenta de riesgos: la ciberseguridad, la fiabilidad de los sistemas y la compatibilidad con plataformas existentes deben considerarse desde el diseño. Por otro lado, en un entorno interconectado con otras Fuerzas Armadas, Cuerpos de Seguridad y organismos internacionales como la OTAN o la ONU, la IA puede mejorar la interoperabilidad mediante el tratamiento unificado de datos heterogéneos, ofreciendo una visión integrada del campo de batalla y facilitando decisiones conjuntas más precisas y rápidas.

En definitiva, la incorporación de la inteligencia artificial no es solo un avance tecnológico deseable, sino una respuesta inevitable y estratégica ante un entorno operacional cada vez más exigente. La Armada debe estar preparada para liderar esta transformación y aprovechar su potencial, no solo para adaptarse, sino para actuar con ventaja decisiva en los escenarios del futuro.

### 1.3 Planteamiento del problema

El objetivo principal de este trabajo es el diseño y desarrollo de una herramienta informática capaz de apoyar la toma de decisiones tácticas mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial, ajustándose a criterios definidos por la doctrina militar. Este reto no se limita al ámbito técnico, sino que requiere una traducción rigurosa de conceptos doctrinales a estructuras formales que puedan ser interpretadas por un programa. A lo largo del proceso de desarrollo, será necesario afrontar varias decisiones clave relacionadas con la elección de las tecnologías a utilizar, la representación del conocimiento doctrinal, y la forma de modelar situaciones tácticas complejas mediante lógica computacional. Las líneas generales para el desarrollo del sistema serían:

- Elección del entorno de programación y arquitectura del sistema: El desarrollo de la herramienta requiere seleccionar un lenguaje de programación que permita flexibilidad, facilidad de prototipado y una estructura clara para la implementación de lógica táctica. Asimismo, es necesario definir cómo se estructurarán los datos de entrada, cómo se procesarán internamente y cómo se mostrarán los resultados de forma comprensible para el usuario final.
- Definición del enfoque de inteligencia artificial: Uno de los principales retos es elegir el tipo de inteligencia artificial adecuado. Dado el entorno doctrinal en el que se enmarca el proyecto, se optará por un enfoque que combine simplicidad, interpretabilidad y coherencia con procesos lógicos humanos. La lógica difusa se presenta como una opción viable para representar incertidumbre y tomar decisiones con múltiples factores de entrada, aunque se valorará su escalabilidad para futuros desarrollos.
- Conversión de doctrina militar a parámetros operativos: El mayor desafío conceptual es traducir elementos doctrinales cualitativos —como moral, adiestramiento, organización del terreno, o experiencia— a variables cuantificables que el sistema pueda procesar. Esta conversión implica no solo identificar qué aspectos son relevantes, sino también establecer escalas, ponderaciones y relaciones entre ellos de forma coherente con el razonamiento militar.
- Establecimiento de reglas de decisión y modelado del comportamiento enemigo: Una vez parametrizados los elementos doctrinales, será necesario construir un sistema de reglas que permita al programa estimar las posibles respuestas del enemigo ante diferentes situaciones. Este paso exige estructurar una lógica de comportamiento que, sin perder rigor técnico, emule el pensamiento táctico de un mando militar, considerando múltiples factores simultáneamente.

## **1.4 Objetivos generales y específicos**

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Grado es demostrar la utilidad de la inteligencia artificial, incluso en sus formas más sencillas, como los conjuntos borrosos, en el proceso de planeamiento de pequeñas unidades. Se pretende evidenciar cómo estas herramientas pueden mejorar la toma de decisiones al gestionar la incertidumbre inherente a situaciones operativas, proporcionando al oficial de la Armada una base más sólida y flexible para evaluar opciones y escenarios. La aplicación de IA permitirá abordar problemas donde las variables no son estrictamente binarias, reflejando de forma más realista las condiciones cambiantes y ambiguas a las que se enfrentan las pequeñas unidades en sus misiones.

Los objetivos específicos de este Trabajo de Fin de Grado son cuatro y buscan abordar de forma integral la aplicación de la inteligencia artificial en el proceso de planeamiento de pequeñas unidades. En primer lugar, se realizará un análisis de los puntos clave dentro del proceso de planeamiento que sean susceptibles de automatización, identificando aquellas fases donde la toma de decisiones pueda beneficiarse de herramientas basadas en IA. En segundo lugar, se diseñará un modelo de inteligencia artificial implementado en Python que permita analizar los factores que influyen en la decisión, considerando variables como la probabilidad de éxito y la potencia de combate relativa. El tercer objetivo consiste en aplicar el modelo desarrollado a casos reales, evaluando su rendimiento y comparando los resultados obtenidos con los métodos tradicionales de planeamiento para determinar las posibles mejoras en precisión, rapidez y eficacia. Por último, se pretende abrir nuevas líneas de investigación que exploren otras aplicaciones de la IA en el ámbito militar, fomentando el desarrollo de herramientas más avanzadas que contribuyan a la optimización de procesos operativos y tácticos.

## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 ¿Qué es la inteligencia artificial?

#### 2.1.1 Conceptos básicos de Inteligencia artificial y aprendizaje automático

La inteligencia artificial (IA) representa un cambio fundamental frente a la programación tradicional basada en reglas explícitas. Mientras que el software convencional produce resultados definidos por instrucciones preestablecidas, la IA utiliza datos para aprender automáticamente funciones complejas que relacionan entradas y salidas de forma no lineal. Este proceso se apoya en algoritmos de aprendizaje inductivo, como el descenso de gradiente estocástico (SGD) y variantes más avanzadas como Adam o RMSProp, que ajustan los parámetros de modelos de alta dimensionalidad con el fin de minimizar errores y mejorar las predicciones.

[3]Un componente esencial de este aprendizaje es la minimización de funciones de pérdida, que cuantifican la diferencia entre las salidas del modelo y los valores reales. Cuando estas funciones no son convexas, como ocurre en la mayoría de problemas complejos, pueden presentar múltiples mínimos locales, lo que dificulta la convergencia óptima del modelo. Este fenómeno complica la optimización a medida que crece la complejidad estructural, y plantea un reto clave para lograr resultados fiables y consistentes en entornos de alta incertidumbre.

Las arquitecturas modernas de representación distribuida —como las redes neuronales profundas o los transformers— permiten capturar relaciones complejas entre los datos mediante la composición de transformaciones no lineales. El teorema de aproximación universal establece que redes con una sola capa oculta pueden aproximar cualquier función Borel-medible[4], pero en la práctica se requieren arquitecturas más profundas para una representación eficiente. La profundidad, además, ha demostrado mejorar la capacidad de generalización al capturar jerarquías latentes y patrones estructurales complejos.

El desarrollo de estas arquitecturas ha sido posible gracias a la escalabilidad paralela del hardware y el software, impulsada por leyes como la de Koomey (eficiencia energética) y la de Huang (paralelismo masivo). Aceleradores como GPUs y TPUs, con núcleos optimizados para operaciones matriciales (GEMM), permiten entrenar modelos con billones de parámetros mediante precisión mixta (FP16/FP32), sincronizados por algoritmos como All-Reduce. Sin embargo, esta capacidad computacional también plantea problemas de sostenibilidad, tanto por el alto consumo energético como por la huella de carbono asociada, lo que resulta especialmente relevante en entornos como el militar, donde la eficiencia logística y energética es un factor crítico.

En paralelo, uno de los desafíos emergentes en aplicaciones sensibles como la defensa es la interpretabilidad. Aunque los modelos de IA pueden ofrecer alto rendimiento, muchas veces funcionan como "cajas negras", dificultando entender cómo y por qué se toma una decisión. En contextos como

seguridad, sanidad o defensa, esta falta de transparencia puede comprometer la supervisión humana, la confianza operativa y la trazabilidad del proceso decisional. Además, debe considerarse la resiliencia ante ataques adversariales, ya que modelos entrenados sin protección pueden ser vulnerables a entradas diseñadas para manipular su comportamiento, generando riesgos tácticos o estratégicos.

[5]En conjunto, la capacidad de generalizar —es decir, aplicar patrones aprendidos a datos no vistos— se convierte en un objetivo central. Esta propiedad surge del equilibrio entre complejidad del modelo, tamaño del conjunto de entrenamiento y técnicas de regularización como el dropout, la detención temprana o la penalización por norma. No obstante, más allá del ajuste técnico, la IA aplicada a la toma de decisiones tácticas debe orientarse hacia sistemas que no solo sean eficientes y precisos, sino también explicables, robustos y sostenibles, especialmente cuando se integran en escenarios de alta responsabilidad como los entornos militares.

### *2.1.2 Diferencias fundamentales entre IA y software tradicional*

El software tradicional y la inteligencia artificial representan dos enfoques radicalmente distintos en el diseño y la ejecución de sistemas computacionales.[5]

El software tradicional sigue un modelo determinista basado en reglas explícitas, donde cada comportamiento es definido manualmente por los desarrolladores mediante instrucciones codificadas de forma rígida. La ejecución del programa sigue un flujo lógico predefinido: dada una entrada específica, se desencadena una secuencia fija de operaciones aritméticas o lógicas que conducen a una salida única y predecible. Su funcionamiento es inmutable, salvo que se realicen modificaciones explícitas en su código. Por ejemplo, un software de cálculo estructural aplicará ecuaciones de la mecánica de materiales de manera exacta, garantizando que, ante los mismos parámetros de entrada, el resultado será siempre idéntico.

[6]En contraste, la inteligencia artificial abandona el enfoque determinista tradicional y adopta un paradigma probabilístico basado en datos. En lugar de seguir reglas programadas manualmente, los modelos de IA aprenden patrones estadísticos a partir de grandes volúmenes de datos, construyendo representaciones internas en espacios de embedding que les permiten inferir soluciones en situaciones no observadas previamente. A diferencia del software tradicional, un sistema basado en IA no solo puede predecir resultados, sino que también tiene la capacidad de tomar decisiones autónomas en función de contextos dinámicos, lo que resulta especialmente relevante en entornos complejos como el militar, donde los datos son variables, incompletos o inciertos.

Este proceso se basa en técnicas de optimización matemática, como el descenso de gradiente, que ajusta millones de parámetros en redes neuronales para minimizar una función de pérdida. Para gestionar la incertidumbre y mejorar la capacidad de generalización, se emplean métodos como la validación cruzada, que evalúa el rendimiento del modelo en datos no utilizados durante el entrenamiento, y técnicas de regularización, que reducen el riesgo de sobreajuste y fortalecen la robustez de las predicciones.[7] Sin embargo, esta capacidad de decisión autónoma requiere una supervisión humana constante, especialmente en aplicaciones críticas, para evitar resultados inesperados o decisiones erróneas derivadas de inferencias mal calibradas.

A diferencia del software tradicional, que ofrece una trazabilidad completa del proceso lógico que lleva a cada resultado, los modelos de IA suelen comportarse como “cajas negras”, donde es difícil conocer qué factores han influido en una decisión concreta. Este problema de falta de interpretabilidad es especialmente delicado en ámbitos sensibles como la seguridad, la salud o la defensa, donde es imprescindible entender el razonamiento detrás de cada decisión para garantizar su validez, responsabilidad y fiabilidad operacional. [5]

### 2.1.3 Redes neuronales: Arquitectura y funcionamiento matemático

Las redes neuronales artificiales (RNA) constituyen la piedra angular de la inteligencia artificial moderna, permitiendo la modelización matemática de procesos cognitivos inspirados en la estructura y el funcionamiento de las neuronas biológicas. Su poder radica en la capacidad de representar relaciones altamente complejas mediante transformaciones no lineales, lo que las convierte en aproximadores universales de funciones, según el teorema de Cybenko.[3]

Una RNA básica se compone de varias capas de procesamiento interconectadas:

- Capa de entrada: Representa los datos en forma de vectores de características (features). En problemas de visión artificial, por ejemplo, estos vectores se estructuran como tensores multidimensionales que contienen la información de los píxeles de una imagen.
- Capas ocultas: Son las responsables de transformar los datos mediante operaciones matemáticas sucesivas. Cada neurona en una capa oculta aplica una transformación afín (combinación lineal ponderada de las entradas) seguida de una no linealidad introducida por una función de activación. Es en estas capas donde se produce la extracción progresiva de características relevantes.
- Capa de salida: Genera la predicción final del modelo. Su activación varía según el tipo de problema. [5]

Estas capas se comportan tal y como podemos apreciar en la figura 2-1.

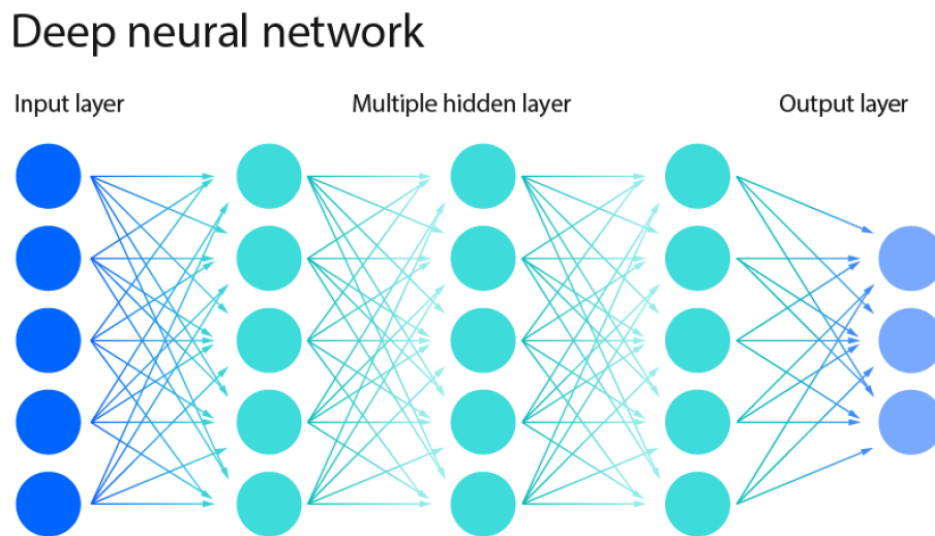


Figura 2-1. Esquema de una DNN. Fuente: [www.ibm.com](http://www.ibm.com)

En clasificación multiclase, se utiliza softmax, que transforma los valores de salida en una distribución de probabilidad, y en regresión, se emplean funciones de activación lineales para producir valores continuos.

Durante el entrenamiento de redes neuronales profundas surgen varios desafíos técnicos que afectan directamente a su capacidad de aprendizaje. Uno de los más comunes es el desvanecimiento del gradiente, que se produce cuando los gradientes calculados para ajustar los pesos se vuelven extremadamente pequeños en las capas más cercanas a la entrada. Como consecuencia, los pesos en esas capas apenas se actualizan, lo que impide que el modelo aprenda correctamente en profundidad. Este problema puede mitigarse mediante el uso de funciones de activación como ReLU, inicialización adecuada de los pesos y técnicas como la normalización por capas (layer normalization).[4]

Otro problema frecuente es el sobreajuste, que ocurre cuando la red se ajusta excesivamente a los datos de entrenamiento, capturando incluso ruido o patrones irrelevantes. Aunque esto mejora el rendimiento sobre los datos conocidos, perjudica gravemente la capacidad de generalización del modelo frente a datos nuevos. Para reducir este riesgo, se emplean técnicas como la regularización (L1, L2), dropout, y la detención temprana (early stopping), que introducen mecanismos de control para evitar que el modelo aprenda detalles no representativos del conjunto global. En regresión, se usan activaciones lineales para producir valores continuos.[5]

#### *2.1.4 Aprendizaje automático o Machine Learning*

El aprendizaje automático es una disciplina de la inteligencia artificial que abarca un conjunto de algoritmos capaces de mejorar su desempeño en tareas específicas a partir de la experiencia (datos), sin necesidad de ser explícitamente programados para cada caso particular. A diferencia del software tradicional basado en reglas predefinidas, los modelos de ML construyen representaciones internas que les permiten identificar patrones y generalizar sobre datos no vistos.[8]

- Aprendizaje supervisado: El objetivo es enseñar a una máquina a predecir valores (etiquetas) a partir de características conocidas. Por ejemplo, en un sistema de clasificación de correos electrónicos, las características pueden ser palabras y las etiquetas son "spam" o "no spam". El modelo intenta ajustar una función para predecir las etiquetas lo mejor posible. Usamos una función de pérdida (como la entropía cruzada) para medir qué tan lejos está la predicción de la etiqueta real. Algoritmos como Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) intentan encontrar el mejor límite entre clases (como separar "spam" y "no spam") maximizando la distancia entre ellas.
- Aprendizaje no supervisado: Aquí, no tenemos etiquetas. El objetivo es explorar los datos y encontrar patrones o estructuras ocultas. Por ejemplo, en un sistema de recomendaciones de películas, no sabemos qué género le gusta a cada usuario, pero el algoritmo puede agrupar usuarios con gustos similares. Métodos como K-means se agrupan los datos en clústeres (grupos) según su similitud, y PCA reduce el número de variables manteniendo la mayor información posible. Un ejemplo de esto sería agrupar clientes según sus hábitos de compra.

#### *2.1.5 Deep Learning: Redes neuronales profundas y especializadas*

El Deep Learning es una rama del aprendizaje automático que extiende el concepto de redes neuronales artificiales (RNA) añadiendo múltiples capas ocultas. Esto permite que el modelo aprenda representaciones más complejas y abstractas de los datos de forma jerárquica, identificando desde patrones simples hasta estructuras de alto nivel. A medida que se incrementa la profundidad de la red, el modelo mejora su capacidad para reconocer relaciones no triviales en los datos, siendo capaz de abordar tareas que requieren un entendimiento contextual más sofisticado. Sin embargo, este aumento en la profundidad también implica una mayor complejidad computacional, al requerir más recursos de procesamiento y memoria. Además, las redes muy profundas pueden enfrentarse a problemas como el desvanecimiento del gradiente, que limita la eficacia del aprendizaje al dificultar la actualización de los pesos en las capas iniciales.[7]

Entre las arquitecturas más representativas del Deep Learning se encuentran las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) y las Redes Neuronales Recurrentes (RNN), cada una adaptada a tipos específicos de datos y problemas.

Las CNN están diseñadas para trabajar con datos en forma de cuadrícula, como imágenes o mapas. Utilizan filtros que recorren la imagen en pequeñas regiones para detectar patrones como bordes, texturas

y formas, permitiendo una extracción eficiente de características. Al reducir el número de parámetros mediante conexiones locales y técnicas como el pooling, estas redes logran una alta eficiencia computacional sin perder capacidad de representación. Las CNN son especialmente útiles en tareas de reconocimiento de imágenes satelitales, análisis de mapas tácticos o interpretación automática de señales visuales, como pueden ser las captadas por drones en misiones de vigilancia. También son aplicables en el análisis automático de imágenes médicas, inspección de daños estructurales en unidades, y sistemas de navegación autónoma, como en vehículos no tripulados.[5]

Por otro lado, las RNN están diseñadas para el tratamiento de datos secuenciales, como texto, audio, sensores o series temporales. A diferencia de las redes feedforward tradicionales, las RNN conservan un estado interno que les permite recordar información previa, lo que las hace idóneas para tareas donde el orden de los datos es relevante. No obstante, su entrenamiento presenta dificultades como el desvanecimiento o explosión del gradiente en secuencias largas. Para solucionarlo, se han desarrollado variantes como las LSTM (Long Short-Term Memory) y las GRU (Gated Recurrent Units), que incorporan mecanismos de control para gestionar qué información se retiene y cuál se olvida, facilitando así el aprendizaje de dependencias a largo plazo. [5]

[4]En el ámbito de defensa, las RNN y sus variantes pueden aplicarse en tareas como el análisis de series temporales de sensores, útil para implementar mantenimiento predictivo en sistemas complejos como aeronaves, buques o vehículos blindados, anticipando fallos antes de que afecten a la operatividad. También pueden emplearse en el procesamiento de comunicaciones interceptadas, informes de inteligencia o flujos de datos operacionales, extrayendo patrones relevantes en tiempo real. En entornos multilingües o de cooperación internacional, las RNN han sido fundamentales en sistemas de traducción automática, clave para operaciones conjuntas o en misiones bajo bandera OTAN.

### 2.1.6 Procesamiento del lenguaje natural (NLP) y modelos de lenguaje grandes (LLM)

El Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP) es un campo de la inteligencia artificial que combina técnicas de lingüística computacional y aprendizaje automático para permitir que las máquinas comprendan, generen y respondan al lenguaje humano de manera coherente. Este campo ha avanzado significativamente gracias a los modelos de lenguaje de gran escala (LLM), como GPT-4 o PaLM. Estos modelos están basados en redes neuronales profundas del tipo transformer, las cuales son capaces de procesar grandes cantidades de datos y aprender patrones complejos en textos. Han sido entrenados con billones de palabras, lo que les permite comprender el lenguaje de manera sorprendentemente precisa.

- La tokenización es uno de los primeros pasos en el procesamiento del lenguaje. Consiste en dividir un texto en partes más pequeñas, llamadas tokens, que pueden ser palabras, subpalabras o incluso caracteres individuales. Por ejemplo, la frase "Estoy aprendiendo NLP" podría dividirse en los siguientes tokens: ["Estoy", "aprendiendo", "NLP"]. Esto es importante porque permite a la máquina manejar el texto de forma más eficiente. Una técnica común para realizar esta división es Byte-Pair Encoding (BPE), que no solo corta palabras, sino que también puede dividir palabras en subunidades que capturan la estructura lingüística de manera eficiente. Con BPE, el modelo puede aprender a manejar palabras raras o desconocidas, creando tokens como "NLP" en lugar de necesitar un token completamente nuevo para cada palabra no vista.
- Los embeddings contextuales son una evolución importante de los métodos tradicionales de representación de palabras. En lugar de asignar una sola representación numérica (vector) a cada palabra, los modelos modernos como BERT generan representaciones dinámicas que dependen del contexto en el que aparece la palabra. Por ejemplo, la palabra banco tendrá un significado diferente dependiendo de si se habla de un banco financiero o de un banco geográfico (por ejemplo, la orilla de un río). En BERT, la representación vectorial de "banco" será diferente en cada uno de esos contextos, lo que permite que el modelo capture mejor los matices del lenguaje.

- Aunque los LLM como GPT-4 se entrenan de forma generalista para comprender y generar lenguaje en una amplia variedad de contextos, pueden ser especializados o "ajustados finamente" mediante el proceso de fine-tuning. Esto consiste en tomar un modelo preentrenado y ajustarlo con un conjunto de datos más pequeño y específico para una tarea particular. Por ejemplo, si queremos que un modelo genere textos técnicos sobre medicina, se le puede entrenar con artículos médicos y diccionarios específicos del área. Esto permite que el modelo sea mucho más preciso en tareas como análisis de sentimientos (por ejemplo, identificar si un comentario es positivo o negativo) o respuesta a preguntas (como en sistemas de asistencia virtual). Además, con técnicas como el few-shot learning, el modelo puede adaptarse con solo unos pocos ejemplos de entrenamiento, lo que lo hace muy flexible y eficiente.[9]

### 2.1.7 *La importancia crítica de los datos en IA*

Un modelo de IA es tan fiable como los datos con los que ha sido entrenado. Si los datos contienen errores, sesgos o información incompleta, incluso el modelo más avanzado puede producir resultados inexactos o erróneos. Por eso, para que un modelo sea preciso y confiable, es fundamental contar con un conjunto de datos de alta calidad, que debe cumplir ciertos criterios esenciales.[3]

Los datos deben ser limpios y consistentes para que el modelo pueda aprender de manera efectiva. Esto significa que se deben eliminar errores y asegurarse de que toda la información esté en un formato adecuado. Algunas técnicas para garantizar la calidad de los datos incluyen:

- Calidad de datos: Un conjunto de datos de alta calidad es esencial para entrenar modelos de IA precisos. Los datos deben estar limpios y consistentes, lo que implica eliminar valores atípicos o erróneos usando técnicas como el Isolation Forest, y gestionar los valores faltantes mediante métodos como la interpolación o modelos predictivos. Estas prácticas aseguran que el modelo aprenda correctamente sin verse afectado por información incorrecta o incompleta.
- Representatividad: Es igualmente importante que los datos sean representativos de los casos reales para evitar que el modelo aprenda sesgos no deseados. Para lograrlo, se utiliza el muestreo estratificado, que asegura que todas las categorías relevantes estén bien representadas. Por ejemplo, en un conjunto de datos médicos, es clave que haya suficientes ejemplos de diversos grupos demográficos (edad, género, etnia) para que el modelo no sea parcializado y pueda realizar predicciones justas para todos los grupos.
- Preprocesamiento: El preprocesamiento de datos es un paso fundamental antes de entrenar un modelo. Incluye técnicas como normalización y estandarización, donde métodos como el Z-score ajustan las variables para que tengan escalas comparables, lo que facilita el aprendizaje del modelo. Además, se utiliza el aumento de datos para generar ejemplos adicionales que mejoren la generalización. Por ejemplo, en imágenes, se pueden aplicar rotaciones o cambios de iluminación, mientras que en texto se pueden usar sinónimos o realizar parafraseos para variar los datos y evitar que el modelo se sobreajuste a un conjunto específico. También se implementan técnicas de balanceo de clases, como SMOTE, que generan datos sintéticos para las clases minoritarias y aseguran que el modelo no favorezca a las clases más representadas.

- Reducción de dimensionalidad: En casos donde los conjuntos de datos tienen muchas variables, puede aparecer el problema de la "maldición de la dimensionalidad". Esto sucede cuando el exceso de características hace que el modelo sea ineficiente y propenso a sobreajustarse. Para solucionarlo, se aplican técnicas de reducción de dimensionalidad, como el Análisis de Componentes Principales (PCA) o t-SNE, que permiten representar los datos en menos dimensiones sin perder información relevante. Además, la selección de características ayuda a escoger solo las variables más importantes, eliminando las irrelevantes o redundantes y mejorando la eficiencia del modelo.[3]

### 2.1.8 Conjuntos borrosos, la IA en su mínima expresión

La lógica borrosa es un modelo matemático que extiende la lógica clásica al permitir grados de verdad en lugar de valores absolutos de "verdadero" o "falso". Introducida por Lotfi A. Zadeh, esta teoría refleja mejor el razonamiento humano al manejar información imprecisa y subjetiva. En lugar de clasificar elementos de forma rígida, asigna niveles de pertenencia a distintas categorías, lo que la hace ideal para problemas donde los límites entre clases no son claros. Esta capacidad de manejar incertidumbre la convierte en un paradigma cercano a la inteligencia artificial (IA), ya que permite a los sistemas tomar decisiones flexibles y adaptativas sin necesidad de datos exactos.[10]

A diferencia de los enfoques deterministas, la lógica borrosa facilita la toma de decisiones en entornos complejos y dinámicos mediante reglas lingüísticas y razonamiento aproximado, tal como lo hace el pensamiento humano. Se usa en sistemas expertos, controladores automáticos y reconocimiento de patrones, donde permite que las máquinas interpreten y reaccionen ante datos imprecisos. Su integración en dispositivos de uso cotidiano, como frenos ABS, electrodomésticos inteligentes y motores de búsqueda, demuestra su eficiencia en la resolución de problemas sin requerir aprendizaje previo, lo que la acerca al concepto de IA.[10]

Si bien la lógica borrosa no es un sistema de aprendizaje autónomo como las redes neuronales, sí representa una expresión mínima de inteligencia artificial, al permitir que los sistemas razonen, tomen decisiones y se adapten a entornos cambiantes sin requerir programación estricta. Su éxito en la automatización, el control inteligente y la representación del conocimiento muestra que la IA no siempre necesita aprender, sino también procesar información de manera flexible y tomar decisiones inteligentes en condiciones inciertas.

## 2.2 Aplicaciones de la IA en el ámbito civil

La inteligencia artificial ha emergido como una de las tecnologías más influyentes del siglo XXI, transformando tanto el sector público como el privado. Su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos, identificar patrones complejos y automatizar tareas ha permitido optimizar procesos, mejorar la toma de decisiones y reducir costos en múltiples ámbitos. En el sector gubernamental, los organismos públicos han implementado sistemas de IA para fortalecer la ciberseguridad, gestionar infraestructuras urbanas de manera más eficiente y mejorar la prestación de servicios en áreas como la salud y la educación. A su vez, en el sector empresarial, compañías de todos los tamaños han integrado modelos de IA para personalizar la experiencia del cliente, automatizar la producción industrial, mejorar la logística y anticipar tendencias del mercado con mayor precisión. La combinación de estas capacidades ha impulsado una revolución tecnológica que está redefiniendo la manera en que las sociedades operan y evolucionan, abriendo nuevas oportunidades, pero también planteando desafíos éticos y regulatorios que requieren una supervisión adecuada.

### 2.2.1 Salud y medicina

Las aplicaciones de la inteligencia artificial (IA) en el ámbito de la salud han experimentado un crecimiento notable, brindando soluciones que mejoran tanto el diagnóstico como la atención al paciente. Un ejemplo destacado es el uso de algoritmos de aprendizaje profundo para la detección temprana de enfermedades. Modelos como los empleados en la identificación de retinopatía diabética a partir de imágenes de retina han demostrado ser tan precisos como los especialistas humanos, permitiendo un cribado más rápido y eficiente de los pacientes. Del mismo modo, herramientas basadas en IA, como Optellum, pueden analizar radiografías de tórax para detectar posibles nódulos pulmonares sospechosos de malignidad, lo que contribuye a un diagnóstico precoz del cáncer de pulmón. Además, en cardiología, la IA se ha empleado para interpretar electrocardiogramas con el fin de identificar arritmias cardíacas, optimizando la precisión diagnóstica y la rapidez en la toma de decisiones clínicas.[8]

En el contexto de la pandemia de COVID-19, la IA desempeñó un papel crucial en la predicción de brotes y en la gestión de recursos sanitarios. Algoritmos de aprendizaje automático fueron utilizados para modelar la propagación del virus y anticipar la demanda hospitalaria, lo que permitió una mejor asignación de camas y equipos de ventilación mecánica. Asimismo, las aplicaciones móviles dotadas de IA, como los chatbots de triaje utilizados por el sistema de salud británico, contribuyeron a reducir la carga de los servicios de urgencias al guiar a los pacientes hacia el nivel de atención adecuado sin necesidad de acudir físicamente a los centros de salud. Otra área prometedora es la medicina personalizada, donde la IA analiza datos genómicos para identificar variantes genéticas asociadas a determinadas enfermedades, facilitando tratamientos ajustados a las características individuales de cada paciente. [11]

### 2.2.2 Sector financiero

La inteligencia artificial se ha consolidado como una herramienta fundamental en el ámbito financiero para optimizar procesos y mejorar la toma de decisiones estratégicas. Por ejemplo, se han desarrollado modelos predictivos basados en aprendizaje profundo y análisis de series temporales que permiten anticipar movimientos en los mercados bursátiles. Algoritmos como las redes neuronales recurrentes y técnicas de reinforced learning se aplican en el trading algorítmico para perfeccionar la ejecución de órdenes, reduciendo riesgos y maximizando retornos. Estas tecnologías facilitan la integración y el análisis de grandes volúmenes de datos provenientes de diversas fuentes—como información de mercado en tiempo real, noticias financieras y datos de redes sociales—, lo que posibilita decisiones más precisas y oportunas.[12]

Otro ámbito crucial es la detección y prevención de fraudes en transacciones financieras. Mediante métodos de machine learning y deep learning se identifican patrones anómalos en vastos conjuntos de datos, permitiendo la detección temprana de actividades fraudulentas en plataformas de banca en línea y sistemas de pago digital[13]. Además, se han implementado modelos basados en agent-based modeling para simular la dinámica de los mercados, evaluar el impacto de políticas regulatorias y optimizar la gestión de portafolios. Estas aplicaciones no solo fortalecen la seguridad y eficiencia operativa, sino que también impulsan el desarrollo de productos y servicios financieros más personalizados y resilientes.[7]

### 2.2.3 Gestión de recursos

Las redes bayesianas se han convertido en herramientas críticas para predecir la demanda al incorporar variables exógenas como el clima, tendencias sociales o eventos geopolíticos. Por ejemplo, se han desarrollado modelos bayesianos dinámicos que integran datos provenientes de búsquedas en Google Trends y pronósticos meteorológicos para ajustar la predicción de la demanda y reducir errores en la gestión de inventario, aunque las implementaciones específicas varían entre empresas y no se han divulgado públicamente detalles numéricos precisos.[14]

Para la optimización de rutas logísticas, los algoritmos genéticos multiobjetivo (AGMO) han sido aplicados para equilibrar variables como los costos de combustible, la huella de carbono y los tiempos

de entrega. Algunas implementaciones en el sector logístico han logrado optimizar rutas al considerar múltiples criterios simultáneamente, reduciendo el consumo de combustible y mejorando la eficiencia operativa, aunque las métricas exactas dependen de la calidad de los datos en tiempo real y de la configuración del algoritmo.[13]

## 2.3 Aplicaciones de la IA en el ámbito militar y la defensa

La integración de la inteligencia artificial (IA) en el sector de defensa ha redefinido los paradigmas estratégicos y operativos, posicionándose como un eje transformador para la modernización de capacidades militares. En un contexto marcado por la creciente complejidad de los escenarios geopolíticos y la necesidad de respuestas ágiles y adaptativas, la IA emerge como un catalizador crítico para la optimización de sistemas mecánicos, la toma de decisiones en entornos de incertidumbre y la interoperabilidad de tecnologías avanzadas. [15]

Su aplicación abarca desde el diseño autónomo de plataformas bélicas hasta la gestión predictiva de recursos logísticos, fusionando disciplinas como la mecánica computacional, la robótica autónoma y la ciberseguridad. En este marco, la IA no solo potencia la eficiencia operativa, sino que también introduce un enfoque proactivo en la mitigación de riesgos, la resiliencia de infraestructuras críticas y la sostenibilidad de misiones de larga duración. Sin embargo, su adopción plantea desafíos técnicos y éticos inherentes, como la garantía de robustez en entornos hostiles, la protección frente a ciberataques adversariales y la alineación con protocolos internacionales de cumplimiento.[16]

### 2.3.1 Aplicaciones en ambiente OTAN y Unión Europea

La integración de tecnologías basadas en inteligencia artificial (IA) en el ámbito de defensa de los países miembros de la OTAN ha permitido la consolidación de capacidades que abarcan desde la vigilancia multi-dominio hasta la toma de decisiones estratégicas. En este sentido, se han desarrollado sistemas avanzados de reconocimiento que, mediante el procesamiento de datos provenientes de radares, sensores y plataformas aéreas y terrestres, permiten detectar y clasificar amenazas en tiempo real. Estos sistemas, como el que se ejemplifica en el proyecto ATLAS, aprovechan algoritmos de deep learning para mejorar la detección y acelerar la respuesta ante situaciones de alta complejidad operativa.

Paralelamente, la adopción de sistemas de armas autónomas y vehículos no tripulados ha revolucionado el campo de las operaciones militares en el entorno de la OTAN. Proyectos como MAVEN y Skyborg ejemplifican el uso de técnicas de aprendizaje supervisado y por refuerzo para dotar a drones y otras plataformas de capacidades autónomas que facilitan la ejecución coordinada de misiones de reconocimiento y ataque en entornos dinámicos, incrementando así la flexibilidad y el alcance operativo de las fuerzas aliadas.[17]

Otro eje fundamental se centra en la mejora de los sistemas de mando y control mediante el uso de inteligencia artificial. La fusión de datos provenientes de fuentes diversas—incluyendo información cibernética, espacial y terrestre—permite la generación de cuadros de mando inteligentes que facilitan una toma de decisiones rápida y precisa. Estas soluciones integradas son esenciales para gestionar el elevado volumen y la heterogeneidad de la información en tiempo real, promoviendo una coordinación efectiva entre los diferentes actores de la alianza. [18]

Asimismo, la IA ha transformado los procesos de simulación y entrenamiento, aspectos cruciales para la preparación operativa en un contexto de coalición. Plataformas de simulación y wargaming, que incorporan entornos virtuales y modelos multiagente, permiten recrear escenarios tácticos complejos. Estas herramientas favorecen la formación de personal en la ejecución de misiones conjuntas y la adaptación de estrategias en condiciones de incertidumbre, impulsando la interoperabilidad entre las fuerzas de la OTAN. [19]

La aplicación de algoritmos de mantenimiento predictivo en sistemas militares también constituye una prioridad en el marco de la OTAN. Mediante el análisis de grandes volúmenes de datos recolectados de sensores instalados en vehículos y equipos de combate, se logra anticipar fallos y programar intervenciones de manera preventiva. Este enfoque data-driven no solo incrementa la disponibilidad operativa de las plataformas, sino que también optimiza los recursos y reduce los costos asociados al mantenimiento correctivo.

Finalmente, la optimización de la planificación logística y operativa se beneficia de las técnicas de machine learning y análisis predictivo. Estas soluciones permiten coordinar la asignación de recursos, el movimiento de unidades y la gestión de la cadena de suministro en entornos complejos y de alta volatilidad. La capacidad de adaptar de forma dinámica la planificación operativa en función de datos en tiempo real es un factor clave para mantener la agilidad y eficacia de las operaciones en el contexto multinacional de la OTAN[16]

### *2.3.2 Aplicaciones en ambiente BRICS:*

La integración de la inteligencia artificial (IA) en el ámbito de la defensa se ha consolidado también en los países BRICS, destacándose especialmente Rusia y China. A continuación, se exponen seis aplicaciones concretas en las que ambas naciones han apostado, lo que permite apreciar un enfoque integral en la modernización de sus capacidades militares, enmarcado en contextos tecnológicos y geopolíticos complejos.[20]

En primer lugar, en el área de vigilancia y reconocimiento se han desarrollado sistemas que combinan múltiples fuentes de datos para identificar y clasificar blancos en entornos de alta complejidad. En Rusia, se han implementado soluciones que aprovechan algoritmos avanzados para acelerar la detección y análisis de objetivos, mientras que en China se utilizan redes neuronales profundas y procesamiento en tiempo real para mejorar la identificación de amenazas en el terreno.

En segundo término, el desarrollo de sistemas de armas autónomas y vehículos no tripulados ha permitido a ambas naciones operar en escenarios de conflicto con mínima intervención humana. Proyectos en Rusia han demostrado la eficacia del aprendizaje supervisado y por refuerzo para coordinar misiones con drones y plataformas terrestres, y en China se han optimizado los sistemas de navegación autónoma y la toma de decisiones en tiempo real, contribuyendo a una mayor capacidad operativa en entornos hostiles.[21]

En tercer lugar, la aplicación de algoritmos de mantenimiento predictivo es esencial para garantizar la operatividad continua de los sistemas militares. En Rusia, la recopilación y análisis de datos mediante sensores integrados permite anticipar fallos en motores y armamento, lo que posibilita intervenciones preventivas y reduce tiempos de inactividad. De manera similar, China ha adoptado un enfoque data-driven para optimizar la gestión de sus recursos y mantener la eficiencia de sus plataformas militares.

Asimismo, la simulación y el entrenamiento mediante entornos virtuales se han convertido en herramientas cruciales para la formación del personal militar. Ambas naciones han desarrollado plataformas que recrean escenarios tácticos complejos, integrando agentes virtuales capaces de aprender y adaptarse a nuevas condiciones. Este enfoque permite actualizar doctrinas operativas y desarrollar habilidades críticas en contextos de alta incertidumbre.[22]

La fusión de datos multisensoriales constituye otro componente clave para la obtención de una alta consciencia situacional. Rusia y China han implementado sistemas que integran información proveniente de sensores, radares y satélites para transformar grandes volúmenes de datos en cuadros de mando inteligentes. Esta capacidad de integración y análisis en tiempo real facilita la toma de decisiones estratégicas y operativas, especialmente en escenarios donde la volatilidad y la complejidad geopolítica son predominantes.[23]

Finalmente, la optimización de la planificación logística y operativa se beneficia significativamente del uso de algoritmos predictivos y técnicas de machine learning. Estas herramientas permiten anticipar

problemas en la cadena de suministro, coordinar el movimiento de recursos y personal, y optimizar la distribución de medios en entornos de conflicto. Tanto en Rusia como en China, la implementación de estos sistemas data-driven refuerza la capacidad de respuesta y la eficiencia operativa de sus fuerzas, consolidando su modernización en el ámbito de la defensa[18]

### 2.3.3 Aplicaciones en la Armada

En el ámbito de la vigilancia y el reconocimiento, la Armada española ha incorporado sistemas basados en inteligencia artificial para mejorar la detección y el análisis de amenazas en el dominio marítimo y litoral. Por ejemplo, se ha evidenciado el potencial de los algoritmos de reconocimiento de imágenes para potenciar sistemas como el SIRTAP, recientemente integrado en la flota, lo que permite identificar blancos con mayor precisión y rapidez, optimizando la respuesta ante situaciones críticas.

La aplicación de algoritmos de mantenimiento predictivo es otro pilar fundamental en la modernización de las capacidades navales. A través del análisis de datos recogidos por sensores instalados en motores, sistemas de propulsión y armamento, se han desarrollado soluciones que anticipan fallos y programan intervenciones de mantenimiento de forma preventiva. La colaboración entre el CESADAR y empresas tecnológicas, como Indra, ha permitido implementar estas estrategias, reduciendo los tiempos de inactividad y aumentando la eficiencia logística de las unidades.[24]

En cuanto a la formación y el entrenamiento, la Armada ha avanzado hacia la creación de entornos de simulación basados en inteligencia artificial. Plataformas integradas de simulación, que combinan escenarios en vivo, virtuales y constructivos, permiten recrear situaciones tácticas realistas. Estas herramientas facilitan el desarrollo de habilidades operativas y estratégicas en el personal, preparando a los marinos para afrontar escenarios complejos y mejorar la toma de decisiones en tiempo real.[25]

La fusión de datos provenientes de múltiples fuentes —sensores, radares, imágenes satelitales, entre otros— ha sido potenciada mediante técnicas de IA para generar cuadros de mando inteligentes. Esta integración de información mejora la consciencia situacional, permitiendo una visión global del entorno operativo y facilitando la coordinación de las operaciones navales en tiempo real, lo que es esencial para una respuesta ágil ante amenazas emergentes.

Ante la creciente digitalización y el incremento de las amenazas cibernéticas, la Armada española ha implementado sistemas de ciberdefensa basados en inteligencia artificial. El uso de algoritmos para la detección de intrusiones y el análisis de comportamientos anómalos en tiempo real fortalece la seguridad de las redes y sistemas críticos, garantizando la integridad de la información y la continuidad operativa en un entorno cada vez más vulnerable a ataques cibernéticos.[25]

Finalmente, la optimización de la planificación logística y operativa se ha beneficiado del empleo de técnicas de machine learning y análisis predictivo. Estos sistemas permiten gestionar de manera eficiente la asignación de recursos, la programación de intervenciones y la coordinación del desplazamiento de unidades, reduciendo costos y tiempos operativos. La integración de estos enfoques data-driven facilita la toma de decisiones estratégicas y la adaptación continua a un entorno operativo en constante cambio.[18]

## 3 DESARROLLO DEL TFG

### 3.1 Introducción al problema táctico

Toda operación militar parte de una Orden de Operaciones (OPORD) emitida por la unidad superior, en la que se establecen la situación, la misión y las líneas generales de ejecución. A partir de esta orden, cada jefe de unidad subordinada debe iniciar su propio proceso de planeamiento, desglosando el problema táctico en factores clave que le permitan desarrollar una Línea de Acción (LA) adecuada. Esto implica evaluar su capacidad de combate frente al enemigo, analizando la proporción de fuerzas, el terreno, la organización de la defensa y otros factores críticos.[2]

Uno de los primeros pasos en este proceso es la evaluación de la Potencia de Combate Relativa (PCR) entre ambos bandos, lo que permite cuantificar la ventaja o desventaja en términos numéricos. Sin embargo, una PCR superior no garantiza automáticamente el éxito de la operación, ya que existen múltiples variables que pueden alterar el desenlace del combate. El terreno, la calidad del adiestramiento, la moral de las tropas y la disposición defensiva del enemigo pueden hacer que una fuerza teóricamente inferior resista con éxito un ataque. Esta realidad obliga a los mandos a realizar un análisis detallado y estructurado antes de decidir su línea de acción.

Para estructurar este análisis, en la doctrina española se emplea el proceso de confrontación de Líneas de Acción (LAs), que permite comparar alternativas tácticas y seleccionar la más adecuada según los recursos y condiciones del combate. Tradicionalmente, este proceso se ha basado en tablas de evaluación de combate, donde se asignan valores a las unidades en función de factores doctrinales preestablecidos. Sin embargo, este método presenta limitaciones que afectan la rapidez y precisión de la toma de decisiones.[2]

#### 3.1.1 Proceso de planeamiento en Pequeñas Unidades

El combate terrestre moderno exige la toma de decisiones en entornos dinámicos y de alta incertidumbre, donde las unidades de infantería deben adaptarse rápidamente a cambios en el terreno, el enemigo y los apoyos disponibles[26]. En este contexto, el pelotón de fusiles es la unidad básica de combate en la Infantería de Marina española, con la misión de localizar al enemigo, cerrarse sobre él y destruirlo mediante el fuego y movimiento, o rechazar su asalto mediante fuego y combate.[27]

Para llevar a cabo su cometido, el pelotón se despliega bajo el principio de guerra de maniobra, buscando romper la cohesión enemiga con acciones rápidas y dirigidas a sus vulnerabilidades. A nivel táctico, esto implica evaluar la potencia de combate relativa entre fuerzas propias y enemigas, identificar fortalezas y debilidades, y seleccionar la mejor línea de acción para maximizar la probabilidad de éxito en el ataque o la defensa.

El planeamiento a nivel pelotón sigue el Proceso de Guía de Tropas (TLP - Troop Leading Procedures), también conocido como BAMCIS en la doctrina del USMC. Este proceso estructurado guía la toma de decisiones desde la recepción de la misión hasta la ejecución del combate, asegurando que las órdenes sean comprendidas y ejecutadas de manera coordinada. Sin embargo, a pesar de su utilidad, el planeamiento táctico tradicional se basa en la experiencia y juicio del mando, lo que introduce elementos de subjetividad y variabilidad en la toma de decisiones.[27]

### 3.1.2 Evaluación convencional de la potencia de combate

En la doctrina militar tradicional, la evaluación de la potencia de combate se basa en la combinación de múltiples factores cualitativos y cuantitativos. Estos factores incluyen:

- Tamaño y composición de la unidad (Pelotón, Sección, Compañía, etc.).
- Nivel de adiestramiento (alto, medio o bajo).
- Moral y cohesión de la tropa (alta, media o baja).
- Experiencia en combate (veteranos o novatos).
- Equipamiento y tecnología (infantería ligera, mecanizada, acorazada).
- Organización del terreno (Condiciones de Mínima Defensa - CMD, Organización Ligera - OL, Organización Media - OM).
- Apoyos disponibles (artillería, aviación, fuego naval).

Para evaluar la potencia de combate, los mandos utilizan doctrinas y valores empíricos extraídos de estudios de conflictos pasados. Estos valores son representados en tablas de equivalencias, donde se asignan coeficientes de combate a diferentes tipos de unidades. Por ejemplo, en la D-RIM-4-101[26], un pelotón de fusiles ligero tiene una potencia de combate base menor que uno mecanizado, debido a la diferencia en movilidad y protección.[2]

El cálculo de la potencia de combate relativa sigue la siguiente norma:

$$PCR = \frac{POTCOMB PROPIA}{POTCOMB ENEMIGO}$$

Este valor permite clasificar la relación de fuerzas en diferentes categorías:

- $PCR < 1$ : Desventaja para las fuerzas propias.
- $PCR \approx 1$ : Equilibrio de fuerzas.
- $PCR > 1$ : Ventaja para las fuerzas propias.

En la práctica, esta evaluación es realizada por el mando de la unidad en función de su experiencia y juicio, lo que introduce elementos subjetivos en la toma de decisiones. Además, el método convencional no permite modelar incertidumbre ni evaluar con precisión la probabilidad de éxito en función de pequeños cambios en los parámetros de combate.

### 3.1.3 Evaluación convencional de la potencia de combate

El método convencional de evaluación de la potencia de combate presenta importantes deficiencias que afectan la rapidez y precisión en la toma de decisiones. La confrontación de Líneas de Acción (LAs), tal como se plantea en la doctrina española, es un proceso lento y manual, basado en la consulta de tablas doctrinales donde se asignan valores de combate a las unidades en función de su tipo, equipamiento y condiciones operativas. Esta metodología no permite adaptarse dinámicamente a cambios en el entorno, lo que dificulta su aplicación en escenarios tácticos donde la información es parcial o está en constante evolución.

Uno de los principales problemas es que comparar diferentes LAs implica evaluar manualmente cada opción en función de su potencia de combate relativa. Este proceso no solo es tedioso, sino que consume

un tiempo crítico en combate, donde la capacidad de reacción puede marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso de una operación. Además, la evaluación sigue un enfoque rígido y estático, ya que los valores utilizados provienen de tablas predefinidas y no consideran factores cambiantes como la moral, el desgaste del combate o la influencia del terreno de forma dinámica.

Finalmente, aunque existen herramientas tecnológicas capaces de automatizar y optimizar este tipo de análisis, la evaluación de la potencia de combate sigue dependiendo de métodos manuales. La falta de integración de modelos computacionales en el planeamiento táctico limita la eficiencia del proceso, impidiendo comparaciones rápidas entre distintos cursos de acción y dificultando la toma de decisiones en tiempo real.

Dado este contexto, es necesario un enfoque más dinámico que permita automatizar la evaluación de la potencia de combate y facilitar la confrontación de LAs de forma rápida y precisa.

## **3.2 Modelización del problema**

Una vez analizado el problema desde el punto de vista doctrinal y evaluadas las limitaciones del método tradicional, es necesario trasladar este proceso a una herramienta informática que permita evaluar la potencia de combate relativa de forma rápida y precisa. La modelización del problema debe reflejar fielmente los aspectos tácticos sin perder rigor, pero al mismo tiempo hacer posible su implementación en un sistema computacional basado en reglas y cálculos matemáticos. Para ello, es fundamental definir con claridad qué elementos intervienen en la evaluación de la potencia de combate, cómo se parametrizan y qué factores influyen en la comparación entre fuerzas propias y enemigas.

En la doctrina militar, la evaluación de la potencia de combate sigue criterios establecidos en publicaciones doctrinales, como la de confrontación de Líneas de Acción (LAs). Sin embargo, esta doctrina está diseñada para unidades de gran entidad dentro del Ejército de Tierra, lo que supone una limitación a la hora de aplicarla directamente a unidades más pequeñas, como un pelotón de fusiles. La escala de los valores asociados a cada tipo de unidad debe ser adaptada para que sean aplicables a enfrentamientos a nivel táctico, donde las condiciones y dinámicas del combate son significativamente diferentes a las de una batalla a nivel de batallón o brigada. Este proceso de adaptación es esencial para lograr que el modelo informático refleje con precisión la realidad operativa de pequeñas unidades de combate.

### ***3.2.1 Definición de fuerzas propias y enemigas***

Para que la modelización sea efectiva, es necesario partir de una representación clara de las fuerzas enfrentadas en el combate. En este caso, el modelo informático se basa en un escenario donde una fuerza atacante (propia) se enfrenta a una fuerza defensora (enemiga) que ocupa una posición fortificada o semipreparada. Esta simplificación permite centrar el análisis en la comparación de capacidades de combate sin necesidad de modelar maniobras complejas o escenarios dinámicos más avanzados.

En la herramienta desarrollada, las fuerzas propias y enemigas se representan a través de parámetros cuantificables, que permiten calcular su potencia de combate relativa. Para cada bando, el sistema almacena información sobre el número de efectivos, el tipo de unidad, el nivel de adiestramiento y experiencia, así como el armamento disponible. Estos datos se combinan con coeficientes doctrinales predefinidos para obtener un valor objetivo que permita la comparación.

Uno de los aspectos clave en esta modelización es la necesidad de traducir los valores de combate tradicionales, establecidos en la doctrina de confrontación de LAs, a unidades más pequeñas como el pelotón de fusiles. Los valores doctrinales están diseñados para grandes unidades, como compañías o

batallones, y no reflejan directamente la realidad de un enfrentamiento entre pequeños contingentes. Para solucionar esta discrepancia, se ha realizado un proceso de escalado y ajuste, estableciendo equivalencias que permitan representar correctamente la capacidad de combate de una unidad de menor tamaño sin perder coherencia con los principios doctrinales establecidos.

### 3.2.2 Factores multiplicativos en la potencia de combate

La potencia de combate de cada unidad no se define únicamente por su número de efectivos o su equipamiento, sino que depende de múltiples factores que influyen en su desempeño real en el combate. En el modelo informático, estos factores han sido parametrizados para su procesamiento computacional, asegurando que puedan ser utilizados en cálculos comparativos.

Uno de los factores principales es el número de efectivos disponibles, ya que la cantidad de combatientes en una unidad determina su capacidad para mantener el combate durante un tiempo prolongado. Sin embargo, la simple cantidad de tropas no es suficiente para definir la potencia de combate, por lo que se integran otros elementos, como la capacidad de combate orgánica de la unidad, que incluye tanto el armamento estándar como los sistemas de apoyo disponibles.

Otro factor determinante es el nivel de adiestramiento y experiencia, que afecta directamente la eficacia de una unidad en combate. No todas las unidades tienen la misma preparación, y esta diferencia es clave para evaluar su rendimiento en situaciones reales. En el modelo, el adiestramiento se representa mediante un coeficiente de efectividad, que ajusta la potencia de combate en función del grado de preparación de la tropa. Unidades mejor entrenadas y con experiencia previa en combate tienen un desempeño superior en igualdad de condiciones.

Asimismo, se incorpora la moral y cohesión de la unidad, un factor difícil de cuantificar, pero esencial en la guerra terrestre. Tropas con una moral alta pueden resistir en condiciones adversas, mientras que unidades desmoralizadas pueden colapsar rápidamente bajo presión. En la modelización, la moral se traduce en un modificador de combate, que puede mejorar o reducir la efectividad de la unidad según las condiciones en las que se encuentre.

### 3.2.3 Factores comparativos de la potencia de combate relativa

El terreno y su grado de preparación defensiva son factores determinantes en la relación de fuerzas entre atacante y defensor, hasta el punto de condicionar directamente la necesidad de contar con una PCR superior a 1 para garantizar el éxito en el combate ofensivo. En un enfrentamiento convencional, la potencia de combate relativa (PCR) se interpreta como un indicador de la ventaja o desventaja de un bando frente al otro, pero este valor no puede analizarse de forma aislada, sino en función de las condiciones del terreno y el nivel de organización de la defensa enemiga.

Cuando una unidad enemiga ocupa una posición sin preparación previa, su capacidad de resistencia se basa únicamente en su número de efectivos y su armamento, lo que hace que la PCR necesaria para vencer sea más cercana a 1. Sin embargo, conforme el enemigo refuerza su posición y establece defensas organizadas, su resistencia aumenta exponencialmente, lo que obliga a que la PCR del atacante no solo sea superior a 1, sino que crezca en función del nivel de fortificación de la defensa.

Para modelizar esta realidad en la aplicación, se ha establecido un sistema de modificadores de potencia de combate, que reflejan cómo la organización del terreno otorga una ventaja defensiva al enemigo. En términos doctrinales, se han identificado tres niveles principales de organización, que influyen directamente en la PCR mínima requerida para que el atacante tenga probabilidades razonables de éxito:

- Condiciones de Mínima Defensa (CMD): En este escenario, el enemigo no cuenta con fortificaciones ni posiciones preparadas. Su capacidad de resistencia depende exclusivamente de sus armas y su número de efectivos, sin que el terreno le proporcione una ventaja significativa.

En estas condiciones, el atacante puede lograr el éxito con una PCR ligeramente superior a 1, ya que la ventaja numérica o tecnológica debería bastar para imponerse en el combate.

- Organización Ligera (OL): En este caso, el enemigo ha realizado ciertos preparativos defensivos, como trincheras superficiales, barricadas o el uso de elementos naturales del terreno para mejorar su protección. Esta organización reduce la efectividad del ataque y aumenta la resistencia del defensor, lo que implica que el atacante debe compensarlo con una PCR aún mayor que en CMD. En otras palabras, una relación de fuerzas que podría haber sido suficiente contra un enemigo sin preparación, ahora podría ser insuficiente si no se ajusta la proporcionalidad del ataque.
- Organización Media (OM): Aquí, el enemigo ocupa posiciones defensivas fortificadas con obstáculos estructurados y protección contra fuego directo e indirecto. Estas posiciones pueden incluir búnkeres, nidos de ametralladoras y un plan de obstáculos cubierto por el fuego a alto nivel, lo que incrementa drásticamente su potencia de combate efectiva. Para superar esta defensa, el atacante necesita no solo una PCR muy superior a 1, sino que esta debe ser significativamente mayor que en escenarios anteriores, ya que la ventaja que ofrece una posición defensiva bien organizada puede neutralizar la superioridad numérica o de armamento del atacante si la diferencia no es suficientemente grande.

En conclusión, la organización del terreno no es un simple modificador en la ecuación de combate, sino un factor estructural que condiciona directamente la planificación del ataque. No basta con superar la potencia de combate del enemigo, sino que el grado de fortificación de su posición obliga a que la relación de fuerzas sea cada vez mayor para garantizar el éxito.

### 3.2.4 Datos de entrada y parametrización

Para que la aplicación pueda realizar un cálculo preciso de la potencia de combate relativa (PCR), es necesario definir una base de datos de referencia que permita asignar valores objetivos a cada unidad participante en el combate. En este sentido, se han utilizado los datos más genéricos disponibles en la publicación de confrontación de Líneas de Acción (LAS), que proporcionan valores de potencia de combate para diferentes tipos de unidades en función de su entidad y características operativas. Sin embargo, dado que esta doctrina está orientada principalmente a unidades de mayor tamaño dentro del Ejército de Tierra, ha sido necesario adaptar estos valores para hacerlos aplicables a pequeñas unidades tácticas.

El proceso de conversión de estos valores doctrinales a la escala del pelotón de fusiles se ha realizado mediante una regla de tres sencilla, ajustando los coeficientes de combate en función de la entidad de cada unidad. De esta forma, los valores diseñados para brigadas o divisiones han sido recalculados para representar correctamente la potencia de combate de unidades más pequeñas.

Además, para simplificar la clasificación de unidades y hacer el modelo más versátil, se ha optado por sustituir cada medio de transporte doctrinal específico por una categoría más genérica de unidad. En lugar de diferenciar entre TOA, BMR, Pizarro o LIGERA, se han establecido cuatro grandes categorías que permiten una mejor extrapolación de los valores de combate:

- Unidad Ligera: Infantería sin medios blindados, dependiente del combate a pie y con capacidad limitada de movilidad y protección.
- Unidad Motorizada: Infantería equipada con vehículos de transporte sin blindaje significativo, lo que le otorga movilidad, pero sin una mejora sustancial en protección.
- Unidad Mecanizada: Infantería transportada en vehículos blindados de combate que mejoran su movilidad y capacidad de protección, permitiendo mayor resistencia en combate.

- Unidad Acorazada: Unidades que cuentan con carros de combate o blindados de alta protección, con una potencia de fuego significativamente superior.

Esta categorización facilita el procesamiento de los datos y permite aplicar los valores doctrinales de forma más homogénea, asegurando que el sistema pueda evaluar escenarios con diferentes tipos de unidades sin necesidad de introducir todas las variantes específicas de cada modelo de vehículo.

#### A.1. INFANTERÍA

| UNIDAD       | LIGERA | BMR  | TOA  | PIZARRO | M60A3 | LEO2E | OBSERVAC. |
|--------------|--------|------|------|---------|-------|-------|-----------|
| Cía. Fusiles | 0,15   | 0,2  | 0,25 | 0,4     | #     | #     |           |
| Cía. CCM     | #      | #    | #    | #       | 0,35  | 0,77  | 10 CCM    |
| Sc. RECO     | 0,05   | 0,09 | 0,11 | 0,16    | 0,13  | 0,25  |           |
| Sc. DCC Bón. | 0,15   | 0,15 | 0,18 | 0,18    | #     | #     |           |
| Sc. MP       | 0,15   | 0,16 | 0,16 | 0,16    | 0,16  | 0,16  | 6 MP      |
| Cía. MAPO    | 0,4    | 0,4  | 0,45 | 0,5     | 0,29  | 0,41  |           |
| Batallón     | 0,85   | 1    | 1,2  | 1,7     | 1,69  | 3,49  |           |
| Sc. DCC Bri. | 0,1    | 0,1  | 0,12 | 0,12    | #     | #     | TOW       |
| Cía. DCC     | 0,3    | 0,3  | 0,3  | 0,36    | #     | #     | TOW       |

Figura 3-2. Valores de PC por unidad. Fuente: OR5-014 MADOC

|   |            |     | LIGERA   | BMR      | TOA      | PIZARRO  |
|---|------------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 1 | E. FUEGO   | 5   | 0,008333 | 0,011111 | 0,013889 | 0,022222 |
| 2 | PELOTÓN    | 10  | 0,016667 | 0,022222 | 0,027778 | 0,044444 |
| 3 | PELOTÓN +  | 15  | 0,025    | 0,033333 | 0,041667 | 0,066667 |
| 4 | SECCIÓN    | 30  | 0,05     | 0,066667 | 0,083333 | 0,133333 |
| 5 | SECCIÓN +  | 40  | 0,066667 | 0,088889 | 0,111111 | 0,177778 |
| 6 | COMPAÑÍA-  | 70  | 0,116667 | 0,155556 | 0,194444 | 0,311111 |
| 7 | COMPAÑÍA   | 90  | 0,15     | 0,2      | 0,25     | 0,4      |
| 8 | COMPAÑÍA + | 110 | 0,183333 | 0,244444 | 0,305556 | 0,488889 |

Figura 3-3. Valores de PC por unidad adaptada. Fuente: creación propia

Además de los valores básicos de potencia de combate de cada unidad, la aplicación también incorpora los factores que influyen en el rendimiento táctico de la unidad, como la moral, el adiestramiento y la experiencia en combate. Estos factores han sido extraídos tomando como referencia la misma publicación doctrinal y parametrizados para que actúen como modificadores que ajustan la potencia de combate de cada unidad según su estado. De esta forma, una unidad con un alto nivel de adiestramiento y moral tendrá una potencia de combate efectiva superior a una unidad con coeficientes bajos en estos factores, reflejando la importancia del factor humano en el desempeño en combate.

## C.1. FACTORES HUMANOS

| EXPERIENCIA DE COMBATE |     | CUADROS PERMANENTES |     | MORAL  |     |
|------------------------|-----|---------------------|-----|--------|-----|
| Con experiencia        | 2   | 100%                | 1   | Alta   | 2   |
| Bien adiestrado        | 1   | 80%                 | 0,8 | Normal | 1   |
| Movilizado (– del 40%) | 0,5 | 40%                 | 0,4 | Baja   | 0,4 |
| Movilizado (+ del 70%) | 0,2 |                     |     |        |     |

Figura 3-4. Valores de factores multiplicativos. Fuente: OR5-014 MADOC

| EXPERIENCIA     |     | MORAL |     | ADIESTRAMIENTO |     |
|-----------------|-----|-------|-----|----------------|-----|
| Con Experiencia | 1.8 | Alta  | 1.5 | Alto           | 1.4 |
| Sin experiencia | 1   | Media | 1   | Medio          | 1   |
|                 |     | Baja  | 0.8 | Bajo           | 0.7 |

Figura 3-5. Valores de factores multiplicativos adaptados. Fuente: creación propia

Por último, para evaluar la viabilidad de un ataque en función de la organización del terreno del enemigo, se han utilizado los valores extraídos de la tabla resumen sobre la proporción de fuerzas necesarias para afrontar una organización defensiva. Esta tabla establece qué relación de fuerzas es necesaria para superar una posición enemiga en función de su nivel de fortificación (CMD, OL, OM). En la aplicación, estos valores se integran dentro del cálculo de la PCR mínima requerida, de manera que el sistema no solo compara la potencia de combate de cada unidad, sino que también ajusta su evaluación en función del nivel de defensa del enemigo.

## D.1. PROPORCIONES HISTÓRICAS

| MISIÓN PROPIA   | PROPORCIÓN DE FUERZAS |          | ORGANIZACIÓN DEL TERRENO       |
|-----------------|-----------------------|----------|--------------------------------|
|                 | PROPIAS               | ENEMIGAS |                                |
| Ataque          | 2,5                   | 1        | Condiciones mínimas de defensa |
| Defensa         | 1                     | 2,5      |                                |
| Ataque          | 3                     | 1        | Organización ligera            |
| Defensa         | 1                     | 3        |                                |
| Ataque          | 4,5                   | 1        | Organización media             |
| Defensa         | 1                     | 4,5      |                                |
| Contraataque    | 1                     | 1        | Sin organización               |
| Explotación     | 1                     | 1        | Sin organización               |
| Persecución     | 1                     | 1        | Sin organización               |
| Avance contacto | 1                     | 1        | Sin organización               |
| Retardo         | 1                     | 6        | Sin organización               |

Figura 3-6. Proporciones históricas de PCR en base al terreno. Fuente: OR5-014 MADOC

Durante este estudio nos centraremos únicamente en las proporciones históricas de operaciones puramente ofensivas y defensivas.

### 3.3 Introducción de inteligencia artificial en la toma de decisiones:

Tras definir el problema táctico y su modelización en la aplicación, resulta evidente que la toma de decisiones basada en la evaluación convencional de la potencia de combate presenta limitaciones significativas. El método tradicional requiere comparar manualmente valores doctrinales, ajustar la relación de fuerzas según factores tácticos y determinar la viabilidad de un ataque considerando la organización defensiva del enemigo. Este proceso, aunque estructurado en la doctrina, es lento, sujeto a la interpretación del mando y difícil de optimizar en tiempo real.

Para solventar estas limitaciones, el presente trabajo introduce el uso de inteligencia artificial (IA) para mejorar la evaluación de escenarios tácticos y facilitar la toma de decisiones en combate. Concretamente, se ha optado por el uso de lógica difusa, una técnica que permite modelar escenarios donde la información es incierta, incompleta o no se puede representar de manera estrictamente matemática. Esto es especialmente útil en un entorno táctico, donde factores como la moral de las tropas, la efectividad del entrenamiento o las condiciones del terreno no pueden ser expresados con valores absolutos, sino que varían dentro de un espectro de posibilidades.

Mediante la implementación de IA, el sistema desarrollado no solo cuantifica la potencia de combate de cada bando, sino que también estima la probabilidad de éxito de un ataque en función del contexto operacional. La combinación de reglas lógicas predefinidas con modelos adaptativos permite que el sistema analice múltiples factores simultáneamente y genere una evaluación objetiva y optimizada. Esto reduce la carga de trabajo del mando, proporciona una comparación rápida y precisa entre diferentes líneas de acción, y minimiza la subjetividad en la interpretación de la información táctica.

#### 3.3.1 Aplicación de lógica difusa para evaluar escenarios tácticos

La inteligencia artificial aplicada en esta herramienta no solo busca evaluar la potencia de combate relativa (PCR) entre fuerzas enfrentadas, sino que también tiene como objetivo determinar cuáles son las posibles líneas de acción del enemigo en función de la ventaja o desventaja táctica en la que se encuentra. En un combate real, la simple comparación numérica entre fuerzas no es suficiente para predecir el desarrollo del enfrentamiento, ya que las unidades enemigas pueden reaccionar de múltiples maneras dependiendo de la situación. Aquí es donde entra en juego la lógica difusa, permitiendo modelar el comportamiento del enemigo y definir su respuesta más probable.

En términos doctrinales, las posibles Líneas de Acción (LAs) del enemigo frente a una fuerza atacante pueden reducirse a cuatro opciones principales: Defenderse, Reforzarse, Atacarnos, Retirarse, Retrasarnos.

Por la complejidad del estudio de la posibilidad del enemigo de atacarnos cuando este se encuentra en defensiva, que depende de múltiples factores de interpretación no numérica, la hemos eliminado de este estudio reduciéndolo a un combate convencional de dos fuerzas enfrentadas en terreno abierto.

En la aplicación, se ha utilizado lógica difusa para modelar la probabilidad de que el enemigo tome una de estas decisiones en función de la ventaja o desventaja que tenga frente a nuestras fuerzas. Para ello, se han definido conjuntos difusos que representan distintos niveles de superioridad o inferioridad de la PCR, permitiendo determinar qué línea de acción es más probable en cada situación táctica.

La lógica difusa permite asignar valores progresivos en lugar de umbrales absolutos, lo que significa que no hay una frontera rígida entre una acción y otra. En lugar de establecer que una unidad enemiga siempre se retire cuando la PCR es mayor a un determinado valor, el sistema asigna grados de pertenencia a cada posible acción, de modo que la decisión del enemigo es una combinación de posibilidades, dependiendo de la situación exacta.

Por ejemplo, si el cálculo de la PCR indica que las fuerzas propias tienen una ligera ventaja sobre el enemigo, el sistema no dictará directamente que el enemigo se retirará, sino que asignará una mayor probabilidad a que refuerce su posición o intente retrasarnos. Sin embargo, si la PCR es extremadamente alta en favor de las fuerzas propias, la lógica difusa hará que la probabilidad de retirada sea mucho mayor que la de cualquier otra acción.

Este enfoque permite representar la incertidumbre inherente a la toma de decisiones del enemigo, evitando que el modelo tome decisiones demasiado deterministas o basadas en valores absolutos. En su lugar, cada posible línea de acción tiene un peso específico en función de la situación, permitiendo al usuario de la aplicación anticipar qué respuesta es más probable y adaptar su propio plan de ataque en consecuencia.

### 3.3.2 Definición de reglas y conjuntos difusos

Para modelar la toma de decisiones del enemigo en función de la Potencia de Combate Relativa (PCR), la aplicación implementa un sistema basado en lógica difusa, que permite representar el comportamiento de una unidad defensiva en función de su situación táctica. En lugar de utilizar valores absolutos para definir si el enemigo se retirará, resistirá o reforzará su posición, la lógica difusa introduce un enfoque gradual y adaptable, donde cada posible línea de acción tiene un grado de pertenencia en función de la ventaja o desventaja del enemigo en combate.

El primer paso en este proceso es la definición de los conjuntos difusos que representan la ventaja relativa de nuestras fuerzas frente al enemigo en diferentes escenarios de organización del terreno:

- Condiciones de Mínima Defensa (CMD)
- Organización Ligera (OL)
- Organización Media (OM)

Cada uno de estos niveles de fortificación influye directamente en la PCR mínima requerida para que el atacante tenga una probabilidad razonable de éxito. A medida que el nivel de fortificación del enemigo aumenta, la ventaja numérica necesaria para superarlo también debe ser mayor.

A continuación, se presentan los conjuntos difusos correspondientes a cada nivel de organización del terreno, los cuales han sido parametrizados en la aplicación:

- Ventaja Relativa en CMD

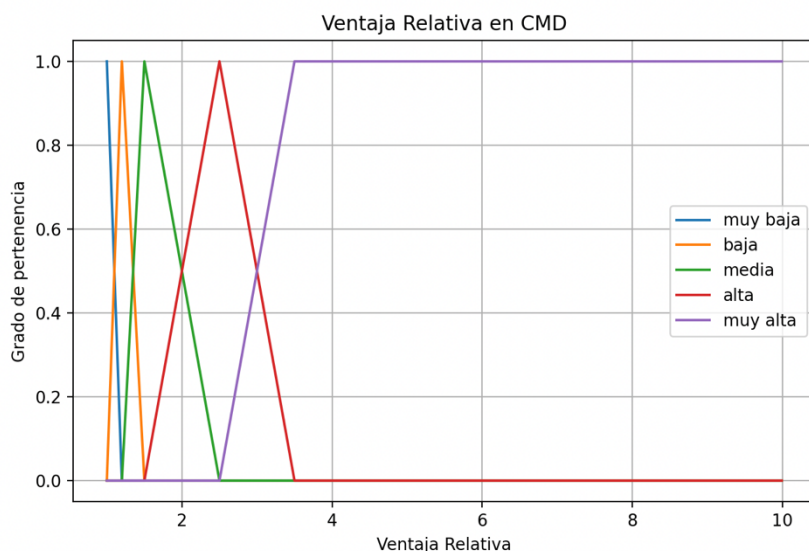


Figura 3-7. Esquema conjunto borroso CMD. Fuente: Creación propia

- Ventaja Relativa en OL

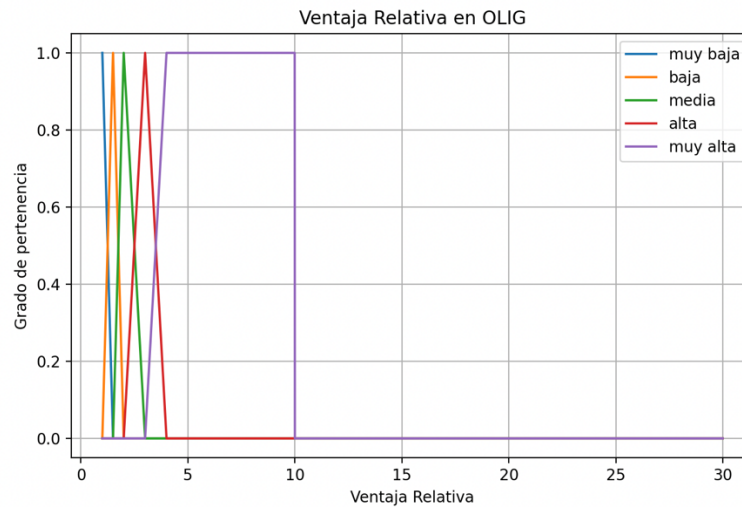


**Figura 3-8. Esquema conjunto borroso OLIG. Fuente: Creación propia**

- Ventaja Relativa en OM

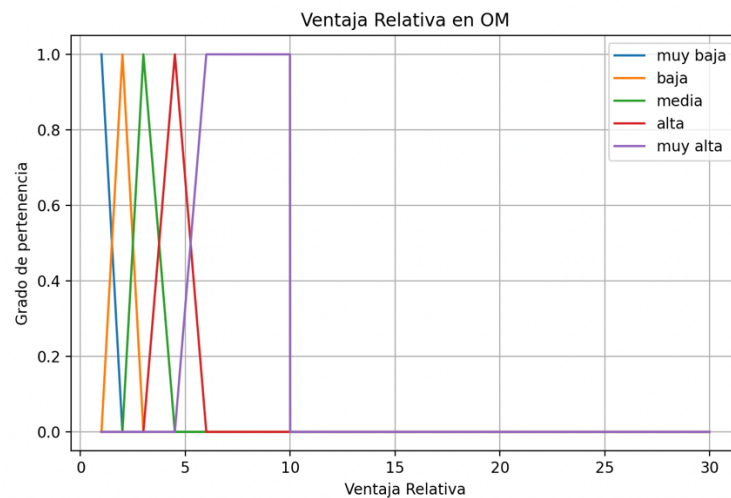


**Figura 3-9. Esquema conjunto borroso OM. Fuente: Creación propia**

Una vez establecida la ventaja relativa en función del terreno, el sistema utiliza estos valores para calcular las probabilidades de respuesta del enemigo, que se agrupan en cuatro posibles líneas de acción. Gracias al conjunto borroso, podemos convertir algo no determinista en una probabilidad más tangible y convertirlo en valores con los que podemos trabajar como ‘baja’, ‘muy baja’, ‘alta’...

De esta forma podemos parametrizar las probabilidades de la siguiente forma:

```

PROB_DEFEND= ctrl.Consequent(np.arange(0, 110, 0.01), 'PROB_DEFEND')

PROB_DEFEND['muy baja'] = fuzz.trimf(PROB_DEFEND.universe, [0, 0, 20])
PROB_DEFEND['baja'] = fuzz.trimf(PROB_DEFEND.universe, [10, 20, 40])
PROB_DEFEND['media'] = fuzz.trimf(PROB_DEFEND.universe, [30, 50, 70])
PROB_DEFEND['alta'] = fuzz.trimf(PROB_DEFEND.universe, [60, 80, 90])
PROB_DEFEND['muy alta'] = fuzz.trimf(PROB_DEFEND.universe, [80, 100, 100])

PROB_REINFORCE= ctrl.Consequent(np.arange(0, 110, 0.01), 'PROB_REINFORCE')

PROB_REINFORCE['muy baja'] = fuzz.trimf(PROB_REINFORCE.universe, [0, 0, 20])
PROB_REINFORCE['baja'] = fuzz.trimf(PROB_REINFORCE.universe, [10, 20, 40])
PROB_REINFORCE['media'] = fuzz.trimf(PROB_REINFORCE.universe, [30, 50, 70])
PROB_REINFORCE['alta'] = fuzz.trimf(PROB_REINFORCE.universe, [60, 80, 90])
PROB_REINFORCE['muy alta'] = fuzz.trimf(PROB_REINFORCE.universe, [80, 100, 100])

PROB_WITHDRAW= ctrl.Consequent(np.arange(0, 110, 0.01), 'PROB_WITHDRAW')

PROB_WITHDRAW['muy baja'] = fuzz.trimf(PROB_WITHDRAW.universe, [0, 0, 20])
PROB_WITHDRAW['baja'] = fuzz.trimf(PROB_WITHDRAW.universe, [10, 20, 40])
PROB_WITHDRAW['media'] = fuzz.trimf(PROB_WITHDRAW.universe, [30, 50, 70])
PROB_WITHDRAW['alta'] = fuzz.trimf(PROB_WITHDRAW.universe, [60, 80, 90])
PROB_WITHDRAW['muy alta'] = fuzz.trimf(PROB_WITHDRAW.universe, [80, 100, 100])

PROB_DELAY= ctrl.Consequent(np.arange(0, 110, 0.01), 'PROB_DELAY')

PROB_DELAY['muy baja'] = fuzz.trimf(PROB_DELAY.universe, [0, 0, 20])
PROB_DELAY['baja'] = fuzz.trimf(PROB_DELAY.universe, [10, 20, 40])
PROB_DELAY['media'] = fuzz.trimf(PROB_DELAY.universe, [30, 50, 70])
PROB_DELAY['alta'] = fuzz.trimf(PROB_DELAY.universe, [60, 80, 90])
PROB_DELAY['muy alta'] = fuzz.trimf(PROB_DELAY.universe, [80, 100, 100])

```

Figura 3-10. Definición de probabilidades según ORTE. Fuente: Creación propia

Con los valores establecidos ya como algo más tangible, podemos aplicar la lógica para definir las reglas que ayuden al sistema a determinar la LA del enemigo. A pesar de que se muestra el ejemplo para CMD, será la misma norma de aplicación para todas las condiciones del terreno ya que el factor decisivo no es la organización del terreno como tal sino la PCR con respecto a este.

- Defenderse: En caso de que el enemigo tenga una PCR igualada a la nuestra o ligeramente superior, será capaz de emplear la ventaja que le aporta el terreno para poder enfrentarse a nuestras fuerzas con los medios que dispone en ese mismo momento. La regla quedaría de tal forma:

```

# DEFEND

rule1_defend_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['muy alta'], PROB_DEFEND['muy baja'])
rule2_defend_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['alta'], PROB_DEFEND['media'])
rule3_defend_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['media'], PROB_DEFEND['alta'])
rule4_defend_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['baja'], PROB_DEFEND['muy alta'])
rule5_defend_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['muy baja'], PROB_DEFEND['muy alta'])

```

Figura 3-11. Reglas de comportamiento DEFENDERSE. Fuente: Creación propia

- Reforzarse: En caso de que el enemigo disponga de unas condiciones igualadas con respecto a nosotros, decidirá emplear las fuerzas adyacentes que dispone, en caso de que disponga de ellas, para poder balancear esa PCR a su favor y explotar el éxito. La regla quedaría de tal forma:

```
# REINFORCE

rule1_reinforce_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['muy alta'], PROB_REINFORCE['muy baja'])
rule2_reinforce_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['alta'], PROB_REINFORCE['alta'])
rule3_reinforce_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['media'], PROB_REINFORCE['muy alta'])
rule4_reinforce_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['baja'], PROB_REINFORCE['alta'])
rule5_reinforce_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['muy baja'], PROB_REINFORCE['media'])
```

Figura 3-12. Reglas de comportamiento REFORZARSE. Fuente: Creación propia

- Retirarse: En caso de presentar una desventaja clara contra nuestras fuerzas, ante la incapacidad de hacer frente a una PCR tan superior el enemigo es probable que se retire. La regla quedaría de tal forma:

```
# WITHDRAW

rule1_withdraw_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['muy alta'], PROB_WITHDRAW['alta'])
rule2_withdraw_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['alta'], PROB_WITHDRAW['media'])
rule3_withdraw_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['media'], PROB_WITHDRAW['baja'])
rule4_withdraw_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['baja'], PROB_WITHDRAW['muy baja'])
rule5_withdraw_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['muy baja'], PROB_WITHDRAW['muy baja'])
```

Figura 3-13. Reglas de comportamiento RETIRARSE. Fuente: Creación propia

- Retrasarnos: En caso del enemigo presentar una PCR superior a la nuestra una vez aplicado el factor del terreno, este presenta una clara ventaja que le permitirá explotar el éxito retrasando y hostigando nuestras fuerzas antes de poder alcanzar su zona principal de defensa. La regla quedaría de tal forma:

```
# DELAY

rule1_delay_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['muy alta'], PROB_DELAY['muy baja'])
rule2_delay_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['alta'], PROB_DELAY['muy baja'])
rule3_delay_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['media'], PROB_DELAY['baja'])
rule4_delay_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['baja'], PROB_DELAY['media'])
rule5_delay_cmd = ctrl.Rule(VENTAJA_CMD['muy baja'], PROB_DELAY['alta'])
```

Figura 3-14. Reglas de comportamiento RETRASARNOS. Fuente: Creación propia

Este modelo permite realizar un análisis dinámico del combate, donde la decisión del enemigo no está predefinida, sino que depende de la interacción entre múltiples factores representados en los conjuntos difusos.

### 3.3.3 Proceso de cálculo y evaluación

El funcionamiento de la aplicación se basa en la evaluación matemática de la Potencia de Combate Relativa (PCR) y la estimación de probabilidades de respuesta mediante un sistema de inferencia difusa. Para lograr esto, el programa sigue un flujo de ejecución dividido en tres fases principales:

- Cálculo de la potencia de combate total a partir de una combinación de valores predefinidos y multiplicadores asociados a factores como entrenamiento, moral y experiencia.
- Comparación de la potencia de combate relativa entre dos conjuntos de datos y ajuste de la relación según condiciones externas definidas en la entrada.
- Inferencia de probabilidades de respuesta mediante un sistema de reglas que asigna grados de pertenencia a cada posible resultado en función de la ventaja relativa calculada.

El primer paso en la ejecución del programa es determinar el valor total de combate para cada conjunto de datos ingresado. Para ello, se parte de una tabla que contiene valores predefinidos asociados a diferentes tipos de elementos.

```

tabla = {
  "E. FUEGO": {
    "LIGERA": 0.008333,
    "MOTORIZADA": 0.011111,
    "MECANIZADA": 0.013889,
    "ACORAZADA": 0.022222
  },
  "PELOTÓN": {
    "LIGERA": 0.016667,
    "MOTORIZADA": 0.022222,
    "MECANIZADA": 0.027778,
    "ACORAZADA": 0.044444
  },
  "PELOTÓN +": {
    "LIGERA": 0.025,
    "MOTORIZADA": 0.033333,
    "MECANIZADA": 0.041667,
    "ACORAZADA": 0.066667
  },
  "SECCIÓN": {
    "LIGERA": 0.05,
    "MOTORIZADA": 0.066667,
    "MECANIZADA": 0.083333,
    "ACORAZADA": 0.133333
  },
  "SECCIÓN +": {
    "LIGERA": 0.066667,
    "MOTORIZADA": 0.088889,
    "MECANIZADA": 0.111111,
    "ACORAZADA": 0.177778
  },
  "COMPAÑÍA-": {
    "LIGERA": 0.116667,
    "MOTORIZADA": 0.155556,
    "MECANIZADA": 0.194444,
    "ACORAZADA": 0.311111
  },
  "COMPAÑÍA": {
    "LIGERA": 0.15,
    "MOTORIZADA": 0.2,
    "MECANIZADA": 0.25,
    "ACORAZADA": 0.4
  },
  "COMPAÑÍA +": {
    "LIGERA": 0.183333,
    "MOTORIZADA": 0.244444,
    "MECANIZADA": 0.305556,
    "ACORAZADA": 0.488889
  }
}

```

Figura 3-15. Tabla valores PC por unidad adaptada. Fuente: Creación propia

A partir de estos valores, el programa aplica factores de ajuste que modifican el valor inicial en función de parámetros adicionales. Estos ajustes se realizan multiplicando el valor base por coeficientes asociados a distintas características, tales como:

- Factor de adiestramiento:

```
def multiplicador_adiestramiento(adiestramiento):
    """
    Devuelve el multiplicador correspondiente al nivel de adiestramiento.
    """
    factores = {
        "Alto": 1.4,
        "Medio": 1.0,
        "Bajo": 0.7
    }
    return factores[adiestramiento]
```

Figura 3-16. Multiplicador adiestramiento. Fuente: Creación propia

- Factor de moral:

```
def multiplicador_moral(moral):
    """
    Devuelve el multiplicador correspondiente al nivel de moral.
    """
    factores = {
        "Alta": 1.5,
        "Media": 1.0,
        "Baja": 0.8
    }
    return factores[moral]
```

Figura 3-17. Multiplicador moral. Fuente: Creación propia

- Factor de experiencia:

```
def multiplicador_experiencia(experiencia):
    """
    Devuelve el multiplicador correspondiente al nivel de experiencia.
    """
    factores = {
        "Con Experiencia": 1.8,
        "Sin Experiencia": 1
    }
    return factores[experiencia]
```

Figura 3-18. Multiplicador experiencia. Fuente: Creación propia

Cada uno de estos factores tiene un conjunto de valores discretos que se utilizan como multiplicadores, ajustando la cifra final en función de los parámetros ingresados.

La fórmula aplicada en el cálculo de la potencia de combate total es:

```
def calcular_valor_total(tamano, equipamiento, adiestramiento, moral, experiencia):  
    """  
    Calcula el valor total combinando el valor base de la tabla con los multiplicadores  
    de adiestramiento, moral y experiencia.  
    """  
    valor_base = obtener_valor_base(tamano, equipamiento)  
    mult_adiestramiento = multiplicador_adiestramiento(adiestramiento)  
    mult_moral = multiplicador_moral(moral)  
    mult_experiencia = multiplicador_experiencia(experiencia)  
  
    valor_total = valor_base * mult_adiestramiento * mult_moral * mult_experiencia  
    return valor_total
```

**Figura 3-19. Fórmula cálculo PC de cada unidad. Fuente: Creación propia**

Una vez obtenidos los valores de combate de ambas entradas, se procede a la comparación de los mismos a través del cálculo de la Potencia de Combate Relativa (PCR). Este valor se obtiene mediante la siguiente operación:

```
def calcular_potcomb_relativa(params1, params2):  
    """  
    Recibe dos conjuntos de parámetros (cada uno con tamaño, equipamiento,  
    adiestramiento, moral y experiencia) y retorna la relación entre  
    sus valores totales (valor1 / valor2).  
    """  
    text_area.delete("1.0", tk.END)  
    valor1 = calcular_valor_total(*params1)  
    valor2 = calcular_valor_total(*params2)  
  
    # Se evita división por cero  
    if valor2 == 0:  
        return 0  
  
    return valor1 / valor2
```

**Figura 3-20. Fórmula cálculo PCR. Fuente: Creación propia**

Este resultado se utiliza como variable de entrada para la siguiente fase del proceso, pero antes de ser utilizado debe ser ajustado en función de condiciones del terreno que afectan la relación entre ambas fuerzas. El programa entrará al conjunto difuso con la PCR aplicando las normas referidas a cada organización del terreno y nos mostrará el nivel de ventaja que tenemos con respecto al enemigo. Se muestra el código para CMD y el resto de condiciones se realizan de forma análoga.

```

if seleccionot.get()=="CMD":

    grado_muy_baja = fuzz.interp_membership(VENTAJA_CMD.universe, VENTAJA_CMD['muy baja'].mf, valor)
    grado_baja = fuzz.interp_membership(VENTAJA_CMD.universe, VENTAJA_CMD['baja'].mf, valor)
    grado_media = fuzz.interp_membership(VENTAJA_CMD.universe, VENTAJA_CMD['media'].mf, valor)
    grado_alta = fuzz.interp_membership(VENTAJA_CMD.universe, VENTAJA_CMD['alta'].mf, valor)
    grado_muy_alta = fuzz.interp_membership(VENTAJA_CMD.universe, VENTAJA_CMD['muy alta'].mf, valor)

    agregar_resultado("***Organización del terreno CMD***\n")
    agregar_resultado("Tenemos una ventaja muy baja al "+str(round(grado_muy_baja*100,1))+ "%\n")
    agregar_resultado("Tenemos una ventaja baja al "+str(round(grado_baja*100,1))+ "%\n")
    agregar_resultado("Tenemos una ventaja media al "+str(round(grado_media*100,1))+ "%\n")
    agregar_resultado("Tenemos una ventaja alta al "+str(round(grado_alta*100,1))+ "%\n")
    agregar_resultado("Tenemos una ventaja muy alta al "+str(round(grado_muy_alta*100,1))+ "%\n")

    agregar_resultado("*****\n")

```

Figura 3-21. Función de interpretación y exposición resultados ventaja CMD. Fuente: Creación propia

Una vez conocemos el grado de ventaja aplicado al terreno, entraremos al módulo de comparación que analiza las posibles LAs del enemigo. Una vez calculada la posibilidad de cada acción en base a estas normas, se mostrarán ordenados los porcentajes de posibilidad de cada acción en base a la norma establecida.

```

if grado_muy_baja==0 and grado_baja==0 and grado_media==0 and grado_alta==0 and grado_muy_alta==0:
    pass
else:
    accion1=valores_nombres[valores_ordenados[0]]
    accion2=valores_nombres[valores_ordenados[1]]
    accion3=valores_nombres[valores_ordenados[2]]
    agregar_resultado("*****\n")
    agregar_resultado("Lo más probable es que el enemigo "+accion1+"\n")
    agregar_resultado("o que en su defecto "+accion2+"\n")
    agregar_resultado("*****\n")

```

Figura 3-22. Función desarrollo LAs enemigas. Fuente: Creación propia

A continuación, se muestra un esquema de forma visual que representa los diferentes pasos que hay en este programa:

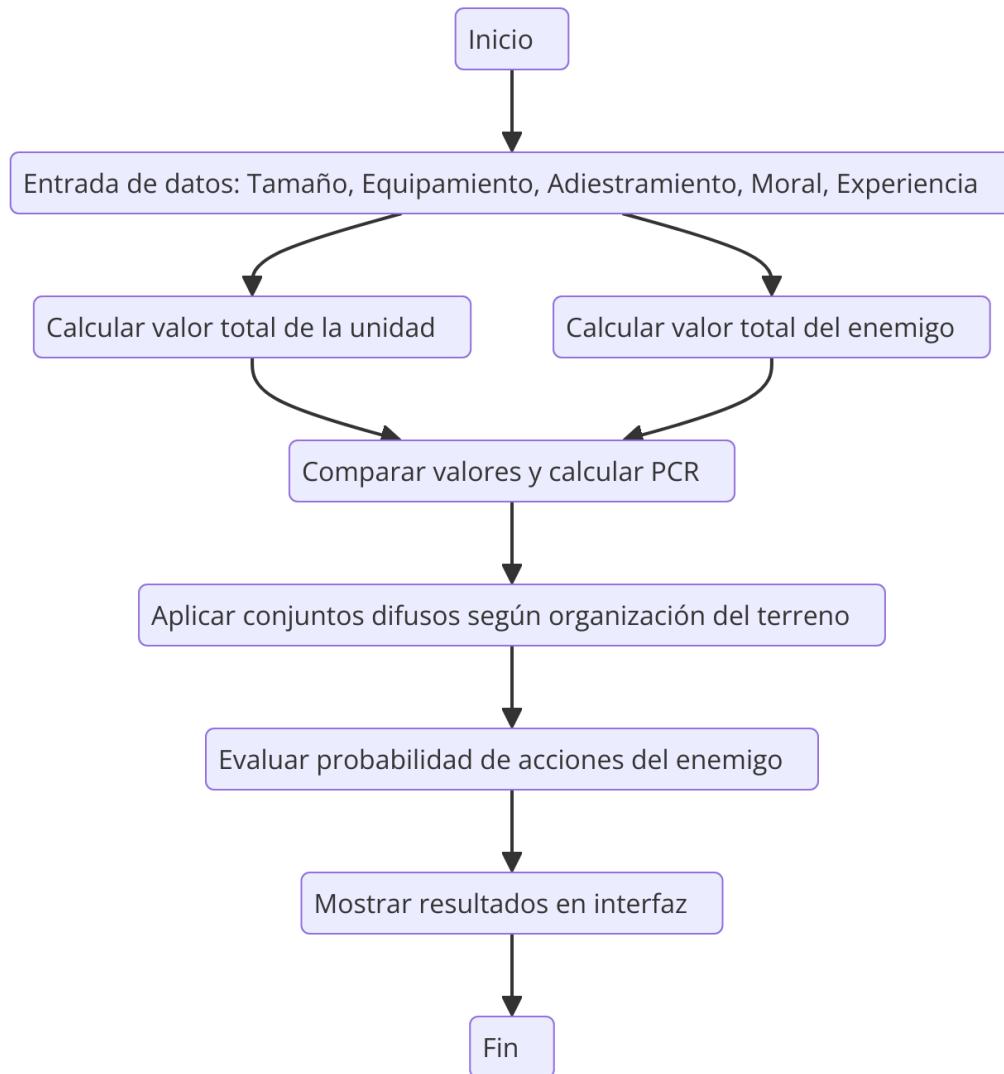


**Figura 3-23. Diagrama de flujo del programa. Fuente: Creación propia**

### 3.3.4 Desarrollo de la interfaz de usuario

La interfaz de usuario de la aplicación ha sido desarrollada utilizando Tkinter, la biblioteca estándar de Python para interfaces gráficas. Se ha estructurado con una ventana principal que organiza los diferentes elementos de entrada y salida mediante frames, botones de selección (radiobuttons), variables de control (StringVar) y cuadros de texto desplazables (ScrolledText).

La ventana principal se genera con la función Tk() de Tkinter y se configura con un título y dimensiones específicas:

```

# Ventana principal
root = tk.Tk()
root.title('Virtual Analysis for Decision and Engagement Readiness (VADER)')
root.geometry('900x700')
  
```

**Figura 3-24. Creación del título y dimensiones de pantalla. Fuente: Creación propia**

Esto establece una ventana con un tamaño fijo de 900x700 píxeles.

Para estructurar los elementos, se utiliza un Frame, lo que permite un diseño más modular:

```
# Crear un frame principal para organizar las dos columnas
main_frame = tk.Frame(root)
main_frame.pack(padx=10, pady=10)
```

Figura 3-25. Creación del Frame principal. Fuente: Creación propia

Esto crea un contenedor para los widgets y permite una organización más ordenada dentro de la interfaz.

Se utilizan variables de tipo StringVar para manejar la selección de opciones en los Radiobuttons. Esto facilita la captura y manipulación de los valores seleccionados por el usuario:

```
# Variable para almacenar la selección
selecciona = tk.StringVar(value="E. FUEGO") # Valor por defecto
selecciona1 = tk.StringVar(value="LIGERA") # Valor por defecto
selecciona2 = tk.StringVar(value="Alto") # Valor por defecto
selecciona3 = tk.StringVar(value="Alta") # Valor por defecto
selecciona4 = tk.StringVar(value="Con Experiencia") # Valor por defecto
```

Figura 3-26. Creación del variables STRING. Fuente: Creación propia

Cada una de estas variables almacena la opción seleccionada en diferentes categorías y permite que el programa acceda a ellas fácilmente.

Los Radiobuttons permiten al usuario seleccionar una opción dentro de un conjunto determinado. Se agrupan en función de su variable de control para que solo una opción esté activa a la vez:

```
# Crear radiobuttons
rb1 = tk.Radiobutton(root, text="E. FUEGO", variable=selecciona, value="E. FUEGO")
rb1.place(x=20, y=5)

rb2 = tk.Radiobutton(root, text="PELOTÓN", variable=selecciona, value="PELOTÓN")
rb2.place(x=20, y=25)

rb3 = tk.Radiobutton(root, text="PELOTÓN +", variable=selecciona, value="PELOTÓN +")
rb3.place(x=20, y=45)

rb4 = tk.Radiobutton(root, text="SECCIÓN", variable=selecciona, value="SECCIÓN")
rb4.place(x=20, y=65)

rb5 = tk.Radiobutton(root, text="SECCIÓN +", variable=selecciona, value="SECCIÓN +")
rb5.place(x=20, y=85)

rb6 = tk.Radiobutton(root, text="COMPAÑÍA-", variable=selecciona, value="COMPAÑÍA-")
rb6.place(x=20, y=105)

rb7 = tk.Radiobutton(root, text="COMPAÑÍA", variable=selecciona, value="COMPAÑÍA")
rb7.place(x=20, y=125)

rb8 = tk.Radiobutton(root, text="COMPAÑÍA+", variable=selecciona, value="COMPAÑÍA +")
rb8.place(x=20, y=145)
```

Figura 3-27. Creación de RADIOBUTTONS. Fuente: Creación propia

Cada Radiobutton se coloca en una posición específica de la ventana mediante `place(x, y)`, lo que permite un control preciso sobre la ubicación de los elementos. En la imagen se muestran únicamente los Radiobutton de los tamaños de unidad, aunque se creará uno para cada elemento a elegir.

Para mostrar los resultados de las selecciones y cálculos, se utiliza un `ScrolledText`, que permite el desplazamiento vertical dentro del área de texto:

```
# Crear un widget ScrolledText para mostrar resultados
text_area = ScrolledText(root, width=70, height=40)
text_area.place(x=305, y=10)
```

**Figura 3-28. Creación del widget `ScrolledText`. Fuente: Creación propia**

Este componente facilita la lectura de información cuando el contenido supera el espacio visible.

Finalmente, se incluye un botón que ejecuta una función cuando es presionado:

```
# Botón para mostrar la selección en consola
btn = tk.Button(root, text="Calcular", command=calcular)
btn.place(x=80, y=500)
```

**Figura 3-29. Creación botón CALCULAR. Fuente: Creación propia**

El parámetro `command=calcular` enlaza el botón con la función `calcular()`, que se ejecutará cuando el usuario haga clic en él.

Una vez realizada la interfaz de usuario iniciamos el programa para validar que esta funciona sin problemas y tenemos lo siguiente:

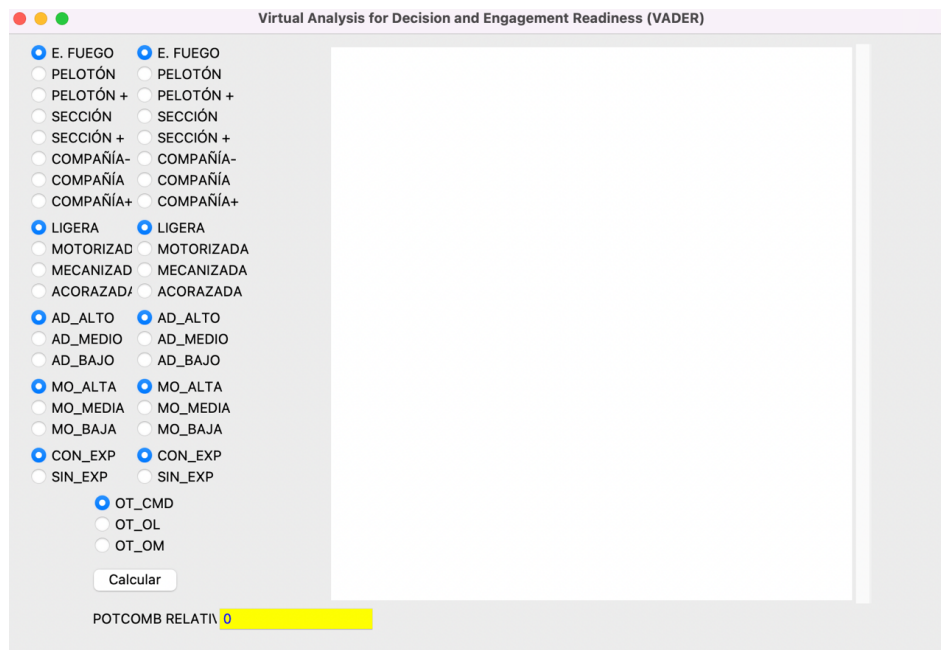


**Figura 3-30. Vista previa VADER. Fuente: Creación propia**

Que generando una respuesta aleatoria para poder validar únicamente el funcionamiento de la misma sería:

Virtual Analysis for Decision and Engagement Readiness (VADER)

☒ E. FUEGO
 ☐ E. FUEGO  
☐ PELOTÓN
 ☐ PELOTÓN  
☐ PELOTÓN +
 ☐ PELOTÓN +  
☐ SECCIÓN
 ☐ SECCIÓN  
☐ SECCIÓN +
 ☐ SECCIÓN +  
☐ COMPAÑÍA-
 ☐ COMPAÑÍA-  
☐ COMPAÑÍA
 ☐ COMPAÑÍA  
☐ COMPAÑÍA+
 ☐ COMPAÑÍA+  
☒ LIGERA
 ☒ LIGERA  
☐ MOTORIZAD
 ☐ MOTORIZADA  
☐ MECANIZAD
 ☐ MECANIZADA  
☐ ACORAZAD/
 ☐ ACORAZADA  
☒ AD\_ALTO
 ☒ AD\_ALTO  
☐ AD\_MEDIO
 ☐ AD\_MEDIO  
☐ AD\_BAJO
 ☐ AD\_BAJO  
☒ MO\_ALTA
 ☒ MO\_ALTA  
☐ MO\_MEDIA
 ☐ MO\_MEDIA  
☐ MO\_BAJA
 ☐ MO\_BAJA  
☒ CON\_EXP
 ☒ CON\_EXP  
☐ SIN\_EXP
 ☐ SIN\_EXP  
☒ OT\_CMD  
☐ OT\_OL  
☐ OT\_OM

\*\*\*Organización del terreno CMD\*\*\*  
 Tenemos una ventaja muy baja al 100.0%  
 Tenemos una ventaja baja al 0.0%  
 Tenemos una ventaja media al 0.0%  
 Tenemos una ventaja alta al 0.0%  
 Tenemos una ventaja muy alta al 0.0%  
 \*\*\*\*\*  
 Probabilidad de que el enemigo se defienda: 93.34%  
 Probabilidad de que el enemigo se refuerce: 50.0%  
 Probabilidad de que el enemigo se retire: 6.67%  
 Probabilidad de que el enemigo intente retrasar: 76.67%  
 \*\*\*\*\*  
 Lo más probable es que el enemigo se defienda  
 o que en su defecto intente retrasarnos  
 \*\*\*\*\*

POTCOMB RELATIV 1.0

Figura 3-31. Generación aleatoria de resultados en VADER. Fuente: Creación propia

## 4 RESULTADOS Y VALIDACIÓN DE LA PRUEBA

### 4.1 Validación de resultados en escenarios sencillos

Uno de los principales objetivos en el desarrollo de esta IA es garantizar que sea capaz de evaluar con precisión diferentes escenarios tácticos y generar respuestas coherentes según los principios del planeamiento militar. Para validar su correcto funcionamiento, se han diseñado tres pruebas con características contrastadas que permitan evaluar su capacidad de razonamiento en situaciones extremas y equilibradas.

Este análisis se centra en observar cómo la IA interpreta y clasifica la relación de fuerzas en combate, aplicando los modelos de lógica difusa previamente programados. Con ello, se busca asegurar que su respuesta no solo se base en valores absolutos, sino que también integre un nivel de razonamiento adaptable a cada contexto operativo.

Los tres escenarios han sido diseñados para representar una clara ventaja, una clara desventaja y un caso de ligera superioridad, permitiendo así un análisis exhaustivo del comportamiento del sistema ante situaciones variadas.

#### 4.1.1 *Escenario 1: ventaja clara*

Este primer caso simula una situación en la que las fuerzas propias cuentan con una clara superioridad en términos de potencia de combate, moral y adiestramiento, lo que debería traducirse en un dominio táctico absoluto sobre la fuerza enemiga. El objetivo de esta prueba es confirmar que la IA reconoce esta ventaja y asigna probabilidades coherentes a las acciones más plausibles del enemigo.

Se espera que, ante una situación de inferioridad extrema, la IA determine que el enemigo evitará el enfrentamiento directo y optará por medidas como la retirada o el solicitar refuerzos en un intento de compensar la desventaja.

Parámetros de Evaluación:

- Fuerza Propia:
  - Tamaño de la unidad: Compañía Acorazada.
  - Nivel de adiestramiento: Alto.
  - Nivel de moral: Alta.
  - Experiencia: Con experiencia.
- Fuerza Enemiga:

Tamaño de la unidad: Pelotón Ligero.

Nivel de adiestramiento: Bajo.

Nivel de moral: Baja.

Experiencia: Sin experiencia.

Organización del terreno: CMD

Resultados Esperados:

La probabilidad de retirada del enemigo sea la más alta.

Se descarte casi por completo la opción de que el enemigo intente resistir.

La posibilidad de solicitar refuerzos sea moderada, ya que el enemigo podría buscar apoyo antes de tomar la decisión final de huida.

El intento de retraso de nuestras fuerzas sea poco probable, ya que su capacidad para imponernos obstáculos es limitada., etc.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Virtual Analysis for Decision and Engagement Readiness (VADER)

☐ E. FUEGO    ☐ E. FUEGO  
☐ PELOTÓN    ☒ PELOTÓN  
☐ PELOTÓN +    ☐ PELOTÓN +  
☐ SECCIÓN    ☐ SECCIÓN  
☐ SECCIÓN +    ☐ SECCIÓN +  
☐ COMPAÑÍA-    ☐ COMPAÑÍA-  
☒ COMPAÑÍA    ☐ COMPAÑÍA  
☐ COMPAÑÍA+    ☐ COMPAÑÍA+  
☐ LIGERA    ☒ LIGERA  
☐ MOTORIZAD    ☐ MOTORIZADA  
☐ MECANIZAD    ☐ MECANIZADA  
☒ ACORAZAD/    ☐ ACORAZADA  
☒ AD\_ALTO    ☐ AD\_ALTO  
☐ AD\_MEDIO    ☐ AD\_MEDIO  
☐ AD\_BAJO    ☒ AD\_BAJO  
☒ MO\_ALTA    ☐ MO\_ALTA  
☐ MO\_MEDIA    ☐ MO\_MEDIA  
☐ MO\_BAJA    ☒ MO\_BAJA  
☒ CON\_EXP    ☐ CON\_EXP  
☐ SIN\_EXP    ☒ SIN\_EXP  
☒ OT\_CMD  
☐ OT\_OL  
☐ OT\_OM

Calcular

POTCOMB RELATIV 161.99676006479865

\*\*\*Organización del terreno CMD\*\*\*  
 Tenemos una ventaja muy baja al 0.0%  
 Tenemos una ventaja baja al 0.0%  
 Tenemos una ventaja media al 0.0%  
 Tenemos una ventaja alta al 0.0%  
 Tenemos una ventaja muy alta al 100.0%  
 \*\*\*\*\*  
 Probabilidad de que el enemigo se defienda: 6.67%  
 Probabilidad de que el enemigo se refuerce: 6.67%  
 Probabilidad de que el enemigo se retire: 76.67%  
 Probabilidad de que el enemigo intente retrasar: 6.67%  
 \*\*\*\*\*  
 Lo más probable es que el enemigo se retire  
 o que en su defecto se defienda  
 \*\*\*\*\*

Figura 4-32. Escenario de ventaja clara. Fuente: Creación propia

Como podemos observar, el carácter multiplicativo sobre todo de factores como el adiestramiento, la moral y la experiencia genera una PCR desorbitada, que hace que se salga de cualquier tipo de parámetros contemplados por el conjunto difuso.

Se valida la hipótesis de que el enemigo lo más probable que haga es que se retire, junto con que lo menos probable que haga sea defenderse o retrasarnos.

Sin embargo, deberíamos haber obtenido un porcentaje superior de reforzarse en el punto, ya que no sería correcto decir que el enemigo tiene las mismas posibilidades de defenderse que de pedir

refuerzos. Por normas generales, este tipo de LAs del enemigo deberían concretarse valorando factores externos como la situación, intenciones, apoyos y disponibilidad de medios, menos tangibles y que necesitan una mayor capacidad de razonamiento.

#### 4.1.2 Escenario 2: *desventaja clara*

En esta prueba, se invierte la situación anterior, de manera que las fuerzas propias se encuentran en una clara desventaja frente a un enemigo que posee mayor potencia de combate, mejor equipamiento y entrenamiento superior. El propósito de esta evaluación es comprobar que la IA reconoce la inferioridad de nuestra unidad y ajusta su análisis en consecuencia.

Dado que el enemigo tiene un dominio absoluto del terreno y cuenta con fuerzas superiores, se espera que su probabilidad de defender su posición sea alta, así como la posibilidad de intentar explotar su ventaja estratégica.

Parámetros de Evaluación:

- Fuerza Propia:  
Tamaño de la unidad: Pelotón Ligero.  
Nivel de adiestramiento: Bajo.  
Nivel de moral: Media.  
Experiencia: Sin experiencia.
- Fuerza Enemiga:  
Tamaño de la unidad: Compañía Acorazada.  
Nivel de adiestramiento: Alto.  
Nivel de moral: Alta.  
Experiencia: Con experiencia.  
Organización del terreno: OLIG

Resultados Esperados:

Dado que la relación de fuerzas favorece al enemigo, la IA debería evaluar el escenario de la siguiente manera:

Alta probabilidad de que el enemigo se mantenga en posición defensiva.

Baja posibilidad de que se retire, ya que no hay razón para evitar el combate.

Baja posibilidad de que se refuerce, ya que poseen suficiente ventaja como para hacernos frente sin tener que empeñar fuerzas en reserva

Alta probabilidad de que intente retrasarnos, ya que pueden emplear parte de las fuerzas en defensiva en desgastar nuestras fuerzas antes de llegar a la zona principal de defensa

Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

**Virtual Analysis for Decision and Engagement Readiness (VADER)**

☐ E. FUEGO    ☐ E. FUEGO  
☒ PELOTÓN    ☐ PELOTÓN  
☐ PELOTÓN +    ☐ PELOTÓN +  
☐ SECCIÓN    ☐ SECCIÓN  
☐ SECCIÓN +    ☐ SECCIÓN +  
☐ COMPAÑÍA-    ☐ COMPAÑÍA-  
☐ COMPAÑÍA    ☒ COMPAÑÍA  
☐ COMPAÑÍA+    ☐ COMPAÑÍA+  
☒ LIGERA    ☐ LIGERA  
☐ MOTORIZAD    ☐ MOTORIZADA  
☐ MECANIZAD    ☐ MECANIZADA  
☐ ACORAZAD/    ☒ ACORAZADA  
☐ AD\_ALTO    ☒ AD\_ALTO  
☐ AD\_MEDIO    ☐ AD\_MEDIO  
☒ AD\_BAJO    ☐ AD\_BAJO  
☐ MO\_ALTA    ☒ MO\_ALTA  
☒ MO\_MEDIA    ☐ MO\_MEDIA  
☐ MO\_BAJA    ☐ MO\_BAJA  
☐ CON\_EXP    ☒ CON\_EXP  
☒ SIN\_EXP    ☐ SIN\_EXP  
☐ OT\_CMD  
☒ OT\_OL  
☐ OT\_OM

Calcular

POTCOMB RELATIV **0.00771620370370370**

\*\*\*Organización del terreno 0L\*\*\*  
 Tenemos una ventaja muy baja al 0.0%  
 Tenemos una ventaja baja al 0.0%  
 Tenemos una ventaja media al 0.0%  
 Tenemos una ventaja alta al 0.0%  
 Tenemos una ventaja muy alta al 0.0%  
 \*\*\*\*\*  
 Probabilidad de que el enemigo se defienda: 93.34%  
 Probabilidad de que el enemigo se refuerce: 50.0%  
 Probabilidad de que el enemigo se retire: 6.67%  
 Probabilidad de que el enemigo intente retrasar: 76.67%  
 \*\*\*\*\*  
 Estamos en desventaja, no debemos atacar  
 \*\*\*\*\*

**Figura 4-33. Escenario desventaja clara. Fuente: Creación propia**

Podemos ver que los resultados son coherentes y coinciden con lo que hemos previsto.

Al tener una PCR tan inferior, el programa nos genera el mensaje de que estamos en desventaja y no debemos atacar, lo que sería correcto ya que no disponemos de los medios necesarios para hacer frente a una entidad de ese calibre.

En cuanto a los porcentajes de las distintas LAs del enemigo, vemos que la más alta es defenderse, cosa que coincide con nuestra predicción ya que tienen medios para poder hacernos frente.

La siguiente LA más probable es que nos retrase, ya que disponen de entidad suficiente como para poder destacar patrullas de combate para hostigarnos en nuestro avance y así desgastar nuestras fuerzas antes de llegar a su zona principal de defensa.

Es correcto que no descarte del todo la opción de reforzarse, ya que, en caso de detectar un ataque inminente de una fuerza enemiga, se activaría lo que conocemos como reserva o QRF (Quick Reaction Force) para aumentar la seguridad en los puntos donde es más probable entrar en contacto con el enemigo y asegurar el éxito.

Finalmente, es coherente que la opción menos probable sea retirarse ya que no tiene sentido que un enemigo con una ventaja tan grande decida retirarse ante el ataque de una fuerza mucho menor.

No obstante, cabe destacar que los porcentajes de ventaja no son correctos, mostrando 0% en todas las posibilidades. Esto se debe a que una PCR tan pequeña se sale del nivel de decimales que evalúa el conjunto borroso ya que comienza en 0 y no tiene sensibilidad para detectar una PCR tan pequeña.

#### 4.1.3 Escenario 3: ligera ventaja

En este tercer caso, la ventaja de la fuerza propia es mínima, lo que genera una situación más incierta y desafiante de evaluar. Aquí, el propósito es validar si la IA logra generar una distribución de probabilidades equilibrada, sin extremos evidentes.

Un escenario con una ligera superioridad plantea desafíos adicionales, ya que el enemigo aún tiene opciones viables para resistir o retrasarnos.

Parámetros de Evaluación:

- Fuerza Propia:

Tamaño de la unidad: Sección Mecanizada.

Nivel de adiestramiento: Medio.

Nivel de moral: Media.

Experiencia: Con experiencia.

- Fuerza Enemiga:

Tamaño de la unidad: Pelotón Mecanizado.

Nivel de adiestramiento: Medio.

Nivel de moral: Media.

Experiencia: Con experiencia.

Organización del terreno: CMD

Resultados Esperados:

En este caso, la IA debería generar una evaluación equilibrada:

Mayores probabilidades de retirarse o de reforzarse, ya que no tienen entidad suficiente para hacer frente con la entidad que tienen disponible

Probabilidad media de defenderse, ya que, aunque la proporción no les sea del todo favorable, no se debe descartar la opción de mantener la defensiva contando con la ventaja del terreno.

Baja posibilidad de retrasarnos, ya que no disponen de entidad suficiente como para realizar acciones que desgasten y retrasen nuestras fuerzas antes de llegar a la zona principal de defensa.

Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

**Virtual Analysis for Decision and Engagement Readiness (VADER)**

☐ E. FUEGO    ☐ E. FUEGO  
☐ PELOTÓN    ☒ PELOTÓN  
☐ PELOTÓN +    ☐ PELOTÓN +  
☒ SECCIÓN    ☐ SECCIÓN  
☐ SECCIÓN +    ☐ SECCIÓN +  
☐ COMPAÑÍA-    ☐ COMPAÑÍA-  
☐ COMPAÑÍA    ☐ COMPAÑÍA  
☐ COMPAÑÍA+    ☐ COMPAÑÍA+  
  
☐ LIGERA    ☐ LIGERA  
☐ MOTORIZAD    ☐ MOTORIZADA  
☒ MECANIZAD    ☒ MECANIZADA  
☐ ACORAZAD/    ☐ ACORAZADA  
  
☐ AD\_ALTO    ☐ AD\_ALTO  
☒ AD\_MEDIO    ☒ AD\_MEDIO  
☐ AD\_BAJO    ☐ AD\_BAJO  
  
☐ MO\_ALTA    ☐ MO\_ALTA  
☒ MO\_MEDIA    ☒ MO\_MEDIA  
☐ MO\_BAJA    ☐ MO\_BAJA  
  
☒ CON\_EXP    ☒ CON\_EXP  
☐ SIN\_EXP    ☐ SIN\_EXP  
  
☒ OT\_CMD  
☐ OT\_OL  
☐ OT\_OM

\*\*\*Organización del terreno CMD\*\*\*  
 Tenemos una ventaja muy baja al 0.0%  
 Tenemos una ventaja baja al 0.0%  
 Tenemos una ventaja media al 0.0%  
 Tenemos una ventaja alta al 50.0%  
 Tenemos una ventaja muy alta al 50.0%  
 \*\*\*\*\*  
 Probabilidad de que el enemigo se defienda: 35.93%  
 Probabilidad de que el enemigo se refuerce: 48.78%  
 Probabilidad de que el enemigo se retire: 61.0%  
 Probabilidad de que el enemigo intente retrasar: 7.78%  
 \*\*\*\*\*  
 Lo más probable es que el enemigo se retire  
 o que en su defecto se refuerce  
 \*\*\*\*\*

POTCOMB RELATIV **2.999964000287998**

**Figura 4-34. Escenario de ventaja ligera. Fuente: Creación propia**

A primera vista podemos ver que los resultados se parecen mucho a lo que hemos estimado. Las LAs del enemigo más probables coinciden con nuestra predicción incluso evaluando los porcentajes, lo más probable sería que se retirase ya que generalmente la fuerza de la que se dispone en reserva es significativamente menor a la que se dispone activa, por lo que no crearía una ventaja suficiente como para hacer frente a nuestras fuerzas.

Ahora endureceremos las condiciones del terreno, elevando la organización del mismo a OLIG. En este caso la proporción necesaria para hacer frente al enemigo con alta probabilidad de éxito es mayor, por lo que el enemigo ganaría ventaja.

En este caso, esperamos que aumente significativamente la probabilidad de que el enemigo se defienda y que se mantenga o aumente la probabilidad de que se refuerce. De la misma forma, esperaríamos que se mantenga la probabilidad de que nos retrase y disminuya la probabilidad de que se retire.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

**Virtual Analysis for Decision and Engagement Readiness (VADER)**

☐ E. FUEGO    ☐ E. FUEGO  
☐ PELOTÓN    ☒ PELOTÓN  
☐ PELOTÓN +    ☐ PELOTÓN +  
☒ SECCIÓN    ☐ SECCIÓN  
☐ SECCIÓN +    ☐ SECCIÓN +  
☐ COMPAÑÍA-    ☐ COMPAÑÍA-  
☐ COMPAÑÍA    ☐ COMPAÑÍA  
☐ COMPAÑÍA+    ☐ COMPAÑÍA+  
☐ LIGERA    ☐ LIGERA  
☐ MOTORIZAD    ☐ MOTORIZADA  
☒ MECANIZAD    ☒ MECANIZADA  
☐ ACORAZAD/    ☐ ACORAZADA  
☐ AD\_ALTO    ☐ AD\_ALTO  
☒ AD\_MEDIO    ☒ AD\_MEDIO  
☐ AD\_BAJO    ☐ AD\_BAJO  
☐ MO\_ALTA    ☐ MO\_ALTA  
☒ MO\_MEDIA    ☒ MO\_MEDIA  
☐ MO\_BAJA    ☐ MO\_BAJA  
☒ CON\_EXP    ☒ CON\_EXP  
☐ SIN\_EXP    ☐ SIN\_EXP  
☐ OT\_CMD  
☒ OT\_OL  
☐ OT\_OM

Calcular

POTCOMB RELATIN **2.999964000287998**

\*\*\*Organización del terreno 0L\*\*\*  
 Tenemos una ventaja muy baja al 0.0%  
 Tenemos una ventaja baja al 0.0%  
 Tenemos una ventaja media al 0.0%  
 Tenemos una ventaja alta al 100.0%  
 Tenemos una ventaja muy alta al 0.0%  
 \*\*\*\*\*  
 Probabilidad de que el enemigo se defienda: 50.0%  
 Probabilidad de que el enemigo se refuerce: 76.67%  
 Probabilidad de que el enemigo se retire: 50.0%  
 Probabilidad de que el enemigo intente retrasar: 6.67%  
 \*\*\*\*\*  
 Lo más probable es que el enemigo se refuerce  
 o que en su defecto se defienda  
 \*\*\*\*\*

**Figura 4-35. Escenario de ventaja ligera 2. Fuente: Creación propia**

Podemos ver que los resultados en este caso, también coincide con lo esperado, aumentando las probabilidades de que se defienda y reduciendo las de que se retire llegando a igualarlas.

Si los resultados obtenidos en estos escenarios ficticios reflejan una correcta predicción y análisis de la situación táctica, podemos considerar que la IA se rige por unas normas lógicas dentro de su marco de referencia. Esto abre la posibilidad de comparar su desempeño con casos reales, planteados a alumnos de Infantería de Marina y corregidos por profesores del Departamento 4. De esta manera, podríamos evaluar si la IA no solo aplica correctamente los principios de planeamiento, sino también si sus conclusiones se alinean con los criterios de evaluación empleados en la formación de oficiales.

## 4.2 Comparación de resultados en escenarios didácticos:

Con el objetivo de evaluar la coherencia y utilidad operativa del sistema desarrollado, se ha decidido realizar una serie de comparaciones entre los resultados obtenidos por la aplicación y el análisis doctrinal basado en ejercicios reales llevados a cabo por la Compañía de Alumnos de Infantería de Marina durante sus prácticas de campo. Estos casos han sido seleccionados deliberadamente para incrementar gradualmente el nivel de complejidad táctica y de entorno, permitiendo observar cómo se comporta el modelo en distintos escenarios.

En primer lugar, se analizará un enfrentamiento convencional en terreno abierto, desarrollado en las inmediaciones de la Sierra de A Fracha, donde las condiciones del terreno y las fuerzas implicadas permiten una lectura táctica clara y estructurada. A continuación, se presentará un caso de combate en zona urbana (MOUT) durante un ejercicio nocturno en el poblado de Figueirido, caracterizado por restricciones de visibilidad, canalización del movimiento y multiplicidad de amenazas. Por último, se analizará el Raid Anfíbio del 14 de febrero en Cabo Udra, un ejercicio complejo que integra maniobra inicial desde el mar y un entorno operacional con múltiples factores a tener en cuenta.

#### 4.2.1 Táctico A Fracha 3 de Octubre de 2024

Los profesores del departamento 4 de instrucción y adiestramiento proporcionaron la siguiente información a los alumnos encargados del planeamiento:

*ENEMIGO: Se estima que el enemigo dispone de una sección de fusiles, con un total aproximado de 28 PAX. Actualmente se encuentra en actitud defensiva, a la espera de reorganizarse con el resto de las secciones de su compañía con vistas a iniciar una acción ofensiva posterior. Esta sección forma parte de una compañía enemiga que ha sido retirada del frente principal, donde operaba previamente en una ofensiva mayor a unos 300 km de distancia. Sin embargo, informes recientes de inteligencia apuntan a que el enemigo podría haber detectado una vulnerabilidad crítica en una de nuestras unidades superiores, por lo que no se descarta que esta compañía haya sido reorientada con el cometido de explotar dicha debilidad mediante una acción ofensiva local.*

*Cuenta con el apoyo de un pelotón de morteros de 60 mm, que no se encuentra desplegado junto a la sección, al ser parte orgánica de la compañía enemiga. Este elemento permanece oculto en otra posición, preparado para prestar apoyo en caso necesario. Las fuerzas más cercanas al objetivo son dos secciones de fusiles adicionales con cometidos similares, y se ha detectado también la presencia de una sección de carros de combate a una distancia de 30 km, con un NTM estimado de 4 horas.*

*ARMAMENTO:*

*Fusil AK-47, AMM RPK, Lanzagranadas RPG*

*MATERIAL:*

*2 UAV tipo RAVEN RQ-11 y HUGGIN XI*

*NIVEL DE ADIESTRAMIENTO: Alto*

*MORAL: Media*

A partir de esta información, los alumnos sacaron las siguientes conclusiones:

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>S</b> | 1 SCC en nuestro objetivo+ 1 PN de morteros+ 2 SCCs en cercanías+ 1 SCC carros                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>A</b> | 1 SCC en defensiva en nuestro objetivo a la espera de reorganizarse con las otras dos SCCs que se encuentran en camino para realizar operaciones ofensivas sobre una posible vulnerabilidad crítica de nuestra unidad superior; la disposición de la defensiva es de trincheras en la cara oeste del objetivo y pozos de tirador en la cara este+ 1PN de morteros en apoyo de la compañía enemiga+ 1 SCC de carros en disposición de reforzar al enemigo con un NTM de 4h y a unos 30km (Por las características de las pistas de las inmediaciones, se estima un tiempo de llegada de unos 40 minutos) |
| <b>L</b> | 1 SCC en nuestro objetivo en 29TNG34559 92931+ Pn. de morteros en 29TNG34731 91969+ Una SCC 3Km al E y otra 4Km al W+ Localización exacta de los carros desconocida.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>U</b> | Unidades de infantería ligera con el apoyo orgánico de un pelotón de morteros de 60mm+ Unidad de carros de combate (capacidad de abrir fuego directo a 2000m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>T</b> | 251700BSEP24                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>E</b> | Fusil AK-47, AMM RPK, Lanzagranadas RPG + mismo armamento junto con dos piezas de m60 + 3 carros de combate (modelo y capacidades desconocidas)+ 2 UAV, tipo RAVEN RQ-11 (2,5 km de alcance) y HUGGIN X1 (2km de alcance).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Figura 4-36. SALUTE A Fracha. Fuente: Creación propia

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>D:</b> Muy probable, se encuentran ya establecidos en defensiva en el OBJ.</p> <p><b>R:</b> Probable, el resto de las SCCs de la compañía a la que pertenece se encuentran en la zona (tropas más cercanas y de ubicación exacta desconocida) con el cometido de reorganizarse para llevar a cabo operaciones ofensivas, junto con un Pn de morteros de 60mm a menos de 2Km. Además, disponen del apoyo de una SCC de carros a 30Km con un NTM de 4h</p> <p><b>A:</b> Poco probable, la ventaja principal sobre nuestro ataque se la proporciona el terreno donde están establecidos en defensiva y tienen una entidad significativamente menor, por lo que es poco probable que rechacen a esa superioridad para lanzar operaciones ofensivas sobre nuestras posiciones.</p> <p><b>W:</b> Poco probable, poseen la ventaja táctica del terreno y están establecidos en defensiva. Sin embargo, pueden intentar retirarse para reorganizarse con el resto de su compañía en otro lugar.</p> <p><b>D:</b> Probable, a pesar de que no disponen de unidades en movimiento de entidad suficiente como para retrasarnos, los fuegos por parte del Pn de m60 pueden retrasar nuestro avance y desorganizar nuestra unidad.</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Figura 4-37. DRAWD A Fracha. Fuente: Creación propia

El análisis doctrinal realizado mediante el método DRAWD sugiere que la Línea de Acción más probable del enemigo es defenderse, ya que se encuentra establecido en posiciones defensivas sobre el objetivo. Esta postura le proporciona una clara ventaja táctica, especialmente gracias al terreno favorable y a su preparación previa. Dado que su entidad es inferior a la nuestra, resulta lógico que adopte una actitud defensiva para maximizar su eficacia y compensar la diferencia de fuerzas. También se valora como probable que el enemigo busque reforzarse, ya que cuenta con el resto de su compañía en la zona, un pelotón de morteros de 60 mm a menos de 2 km y una sección de carros a 30 km, aunque con un

NTM de 4 horas. Esta disponibilidad de apoyos cercanos, aunque limitada en capacidad inmediata, refuerza la posibilidad de una defensa sostenida o reforzada ante nuestro ataque.

La opción de que el enemigo decida retirarse se considera poco probable, ya que su actual ventaja táctica en el terreno le permite resistir, aunque no se descarta totalmente una retirada para reagruparse con sus fuerzas principales. Por otro lado, la posibilidad de que intente retrasar nuestro avance mediante fuegos indirectos se considera probable, ya que, si bien no dispone de unidades móviles de entidad suficiente, el pelotón de morteros podría desorganizar nuestras formaciones y ralentizar el ataque. Cabe destacar que la opción de que el enemigo ataque ha quedado fuera del presente estudio, dada la complejidad de interpretación táctica que implica esa maniobra en relación con la situación concreta planteada.

Vamos a parametrizar al enemigo de forma que sea lo más fiel a la realidad teniendo en cuenta las limitaciones del programa. De esta forma tendremos que el enemigo sería una SCC de infantería motorizada en vez de ligera, para combinar la capacidad de la sección acorazada en reserva y la capacidad de aumentar significativamente la potencia de combate de los fuegos (M60). Su moral es media y adiestramiento alto. Tomaremos como que disponen de experiencia en combate ya que se encuentran desplegados y organización del terreno CMD. De esta forma tenemos:

**Virtual Analysis for Decision and Engagement Readiness (VADER)**

Parameters (Left):

- ☐ E. FUEGO ☐ E. FUEGO
- ☐ PELOTÓN ☐ PELOTÓN
- ☐ PELOTÓN + ☐ PELOTÓN +
- ☐ SECCIÓN ☒ SECCIÓN
- ☐ SECCIÓN + ☐ SECCIÓN +
- ☐ COMPAÑÍA- ☐ COMPAÑÍA-
- ☒ COMPAÑÍA ☐ COMPAÑÍA
- ☐ COMPAÑÍA+ ☐ COMPAÑÍA+
- ☒ LIGERA ☐ LIGERA
- ☐ MOTORIZAD ☒ MOTORIZADA
- ☐ MECANIZAD ☐ MECANIZADA
- ☐ ACORAZAD/ ☐ ACORAZADA
- ☐ AD\_ALTO ☒ AD\_ALTO
- ☒ AD\_MEDIO ☐ AD\_MEDIO
- ☐ AD\_BAJO ☐ AD\_BAJO
- ☒ MO\_ALTA ☐ MO\_ALTA
- ☐ MO\_MEDIA ☒ MO\_MEDIA
- ☐ MO\_BAJA ☐ MO\_BAJA
- ☐ CON\_EXP ☒ CON\_EXP
- ☒ SIN\_EXP ☐ SIN\_EXP
- ☒ OT\_CMD
- ☐ OT\_OL
- ☐ OT\_OM

Calcular

POTCOMB RELATI\ 1.3392790178906249

Results (Center):

```

***Organización del terreno CMD***
Tenemos una ventaja muy baja al 0.0%
Tenemos una ventaja baja al 53.6%
Tenemos una ventaja media al 46.4%
Tenemos una ventaja alta al 0.0%
Tenemos una ventaja muy alta al 0.0%
*****
Probabilidad de que el enemigo se defienda: 82.69%
Probabilidad de que el enemigo se refuerce: 81.86%
Probabilidad de que el enemigo se retire: 17.31%
Probabilidad de que el enemigo intente retrasar: 39.66%
*****
Lo más probable es que el enemigo se defienda
o que en su defecto se refuerce
*****
    
```

**Figura 4-38. Resultados VADER A Fracha. Fuente: Creación propia**

Los resultados generados por la aplicación muestran una probabilidad del 82.69% de que el enemigo se defienda, lo cual coincide con el análisis doctrinal que consideraba esta Línea de Acción como la más probable, reforzando la coherencia del modelo con el juicio táctico convencional. Del mismo modo, la probabilidad de refuerzo estimada en un 81.86% valida la apreciación doctrinal respecto a la presencia de apoyos próximos y la posibilidad real de que el enemigo busque consolidar su defensa. La retirada,

con un 17.31%, se mantiene como una opción poco probable, aunque presente, tal como se consideró en la estimación inicial. Por último, la probabilidad de que el enemigo intente retrasar nuestro avance, situada en un 39.66%, refleja con acierto la capacidad limitada pero existente del enemigo para desorganizar nuestro ataque mediante fuegos indirectos. Estos valores iniciales muestran una tendencia razonablemente alineada con el análisis doctrinal, lo que permite valorar la validez operativa del sistema como apoyo a la decisión táctica. No obstante, será necesario continuar con nuevas comparaciones para seguir evaluando su comportamiento en distintos escenarios.

#### *4.2.2 Táctico nocturno Figueirido 23 de Enero de 2025*

Los profesores del departamento 4 de instrucción y adiestramiento proporcionaron la siguiente información a los alumnos encargados del planeamiento:

*ENEMIGO: Se estima que la presencia enemiga en el poblado de Figueirosa se compone de un total de 20 efectivos, distribuidos entre distintos edificios. Parte de este grupo se encuentra dedicado a la fabricación de artefactos explosivos improvisados (IED), lo que indica la existencia de al menos una infraestructura clandestina de producción dentro del núcleo urbano, aunque no se dispone de información concreta sobre su ubicación exacta. A estos efectivos se les suma una unidad QRF de 30 PAX ubicada en la localidad de Pontevedra, con un NTM estimado de 2 horas (1h de activación y 1h de movimiento hasta Figueirosa).*

*La unidad enemiga corresponde a infantería ligera irregular, armada con fusiles AK-47 y ametralladoras RPK, y dotada de una capacidad de movilidad táctica considerable, al contar con 7 pick-ups sin armamento y al menos 1 pick-up equipada con armamento pesado (AMP). Estas características, junto con su despliegue urbano, les permiten adoptar una postura defensiva flexible y difícil de detectar, combinada con capacidad de respuesta rápida si logran coordinarse con su elemento de refuerzo.*

*ARMAMENTO:*

*Fusil AK-47, AMM RPK*

*MATERIAL:*

*7 pick-up sin armamento, 1 pick-up con AMP*

*NIVEL DE ADIESTRAMIENTO: Alto*

*MORAL: Alta*

A partir de esta información, los alumnos sacaron las siguientes conclusiones:

|   |                                                                                                                                                                                                                                     |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S | 20 PAX en poblado + 30 PAX (QRF).                                                                                                                                                                                                   |
| A | Los 20 PAX se encuentran distribuidos en los edificios y un grupo de estos 20 PAX se encuentran fabricando IED.                                                                                                                     |
| L | 20 PAX: poblado de figueirosa, distribuidos en edificios. Se desconoce la distribución y la ubicación de la fábrica IED exacta.<br>Poblado de figueirosa: 29 T NG 28145 92380<br>30 PAX: localidad de Pontevedra (1h + 1h de NTM ). |
| U | Infantería ligera.                                                                                                                                                                                                                  |
| T | 171300AENE25                                                                                                                                                                                                                        |
| E | Fusil AK-47, AMM RPK, 7 pick-up sin armamento, 1 pick-up con AMP                                                                                                                                                                    |

Figura 4-39. SALUTE Figueirido. Fuente: Creación propia

|   |                                                                                                                                                                                                           |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| D | Muy probable, ya que su intención es la de mantener su presencia en el poblado debido a la importancia de la fábrica IED.                                                                                 |
| R | Probable, su principal aliado es un grupo de traficantes de 30 PAX que se encuentra a 1 hora a vehículo del poblado, con un NTM de 1 hora.                                                                |
| A | Poco probable, carecen de entidad suficiente como para llevar a cabo un ataque efectivo sobre nuestras fuerzas, además sus intenciones son las de mantener su presencia en el poblado por la fábrica IED. |
| W | Poco probable, mantendrán sus posiciones para asegurar la fábrica de IED.                                                                                                                                 |
| D | Poco probable, carecen de entidad suficiente para retrasarnos en nuestras operaciones, pero es posible que nos retrasen en nuestro avance por la presencia de IEDs en la zona.                            |

Figura 4-40. DRAWD Figueirido. Fuente: Creación propia

En el presente caso, el análisis doctrinal del DRAWD identifica como Línea de Acción más probable la defensa, siendo valorada como muy probable por parte del enemigo. Esto se justifica por su intención declarada de mantener la presencia en el poblado, debido a la importancia estratégica de la fábrica de artefactos explosivos improvisados (IED) allí situada. El objetivo táctico prioritario del enemigo no es maniobrar ni enfrentarse de forma directa, sino asegurar la infraestructura que le proporciona capacidad operativa y poder de disuasión frente a nuestras fuerzas.

Se considera también como probable que el enemigo busque reforzarse, dado que cuenta con un aliado próximo (un grupo armado de traficantes de unos 30 PAX) a tan solo una hora de distancia en

vehículo, con un NTM de 1 hora. Este refuerzo, aunque no formalmente integrado, puede tener un efecto multiplicador en la defensa del enclave si logra integrarse en tiempo y forma, especialmente en zonas urbanas con fuerte canalización del movimiento.

Por otra parte, la opción de que el enemigo se retire se estima como poco probable, ya que se entiende que preferirán mantener sus posiciones para garantizar el control de la fábrica de IEDs, evitando así perder una fuente crítica de recursos y capacidad ofensiva indirecta. Del mismo modo, se valora como poco probable que el enemigo opte por retrasar nuestras operaciones mediante acciones convencionales, aunque se reconoce que la presencia de IEDs puede provocar efectos similares de forma indirecta, sin necesidad de maniobras activas.

Para parametrizar esto en nuestra aplicación, vamos a establecer un enemigo de infantería ligera y de entidad Sección, con moral y adiestramiento altos, pero sin experiencia en combate establecidos en CMD en el poblado. De esta forma, nuestro programa nos muestra los siguientes resultados.

The screenshot shows the 'Virtual Analysis for Decision and Engagement Readiness (VADER)' application. On the left, there are two columns of radio button options for configuring an enemy unit. The right side displays the analysis results in a text box.

**Configuration Options (Left):**

- ☐ E. FUEGO ☐ E. FUEGO
- ☐ PELOTÓN ☐ PELOTÓN
- ☐ PELOTÓN + ☐ PELOTÓN +
- ☐ SECCIÓN ☒ SECCIÓN
- ☐ SECCIÓN + ☐ SECCIÓN +
- ☐ COMPAÑÍA- ☐ COMPAÑÍA-
- ☒ COMPAÑÍA ☐ COMPAÑÍA
- ☐ COMPAÑÍA+ ☐ COMPAÑÍA+
- ☒ LIGERA ☐ LIGERA
- ☐ MOTORIZAD ☐ MOTORIZADA
- ☐ MECANIZAD ☐ MECANIZADA
- ☐ ACORAZAD/ ☐ ACORAZADA
- ☐ AD\_ALTO ☒ AD\_ALTO
- ☒ AD\_MEDIO ☐ AD\_MEDIO
- ☐ AD\_BAJO ☐ AD\_BAJO
- ☒ MO\_ALTA ☐ MO\_ALTA
- ☐ MO\_MEDIA ☐ MO\_MEDIA
- ☐ MO\_BAJA ☐ MO\_BAJA
- ☐ CON\_EXP ☐ CON\_EXP
- ☒ SIN\_EXP ☐ SIN\_EXP
- ☒ OT\_CMD
- ☐ OT\_OL
- ☐ OT\_OM

**Analysis Results (Right):**

```

***Organización del terreno CMD***
Tenemos una ventaja muy baja al 0.0%
Tenemos una ventaja baja al 0.0%
Tenemos una ventaja media al 35.7%
Tenemos una ventaja alta al 64.3%
Tenemos una ventaja muy alta al 0.0%
*****
Probabilidad de que el enemigo se defienda: 58.34%
Probabilidad de que el enemigo se refuerce: 80.66%
Probabilidad de que el enemigo se retire: 41.66%
Probabilidad de que el enemigo intente retrasar: 15.91%
*****
Lo más probable es que el enemigo se refuerce
o que en su defecto se defienda
*****
  
```

**Calculation:**

**POTCOMB RELATIV:** 2.142857142857143

Figura 4-41. Resultados VADER Figueirido. Fuente: Creación propia

Los resultados obtenidos por la aplicación muestran una probabilidad del 58.34% de que el enemigo se defienda, lo cual, si bien es algo inferior a la estimación doctrinal de “muy probable”, mantiene coherencia con la valoración táctica general, teniendo en cuenta que el enemigo busca preservar su presencia en el poblado por la importancia de la fábrica de IEDs. La probabilidad de refuerzo, con un 80.66%, encaja perfectamente con lo previsto en el análisis doctrinal, que contemplaba como probable

la llegada de un grupo aliado armado en un plazo razonable de tiempo. Por otro lado, la probabilidad de retirada, estimada en un 41.66%, aparece algo elevada en comparación con la evaluación doctrinal, que la calificaba como poco probable. Sin embargo, este matiz resulta comprensible: el modelo se basa únicamente en los parámetros cuantificables de ventaja relativa y tipo de terreno, sin incorporar reglas lógicas adicionales relacionadas con la intención táctica del enemigo, como la importancia estratégica del objetivo que defiende. Es precisamente esta intención —mantener el control de una infraestructura crítica— la que justificaría una menor propensión a retirarse, pero que aún no está representada explícitamente en el sistema.

Finalmente, la probabilidad de que el enemigo intente retrasar nuestro avance, con un 15.91%, concuerda con el análisis doctrinal, que lo consideraba poco probable más allá del efecto indirecto de los IEDs. En conjunto, los resultados siguen mostrando una tendencia alineada con el razonamiento doctrinal, aunque ponen de manifiesto la necesidad de integrar en el futuro reglas lógicas adicionales que consideren no solo la potencia relativa, sino también la intención y el valor estratégico del objetivo enemigo para ajustar la fiabilidad del modelo.

#### 4.2.3 *Raid anfibio Cabo Udra 14 Febrero 2025:*

Los profesores del departamento 4 de instrucción y adiestramiento proporcionaron la siguiente información a los alumnos encargados del planeamiento:

*ENEMIGO: Se estima la presencia de un Pelotón reforzado con una fuerza entre 8 y 15 efectivos, actuando en el objetivo y acompañado por un elemento QRF de características similares en las inmediaciones. El enemigo pertenece a una unidad de infantería motorizada y se encuentra actualmente realizando reconocimientos de itinerario y de zona, con indicios de que podrían estar iniciando trabajos de preparación de posiciones defensivas. Paralelamente, se ha observado actividad consistente con funciones de reacción rápida (QRF), lo que sugiere que la unidad tiene capacidad de intervención inmediata ante cambios en la situación táctica.*

*Su presencia se ha confirmado en la zona de Cabo Udra, en la Península del Morrazo, y en los alrededores de la población de Sobreira, siendo ambos puntos claves por su valor estratégico en la defensa del acceso a la costa. El enemigo cuenta con armamento ligero y especializado, incluyendo fusiles de asalto y ametralladoras de 7,62 mm, así como sistemas antiaéreos 9K38 IGLA y lanzadores RPG-7, lo que le otorga una capacidad limitada pero significativa contra vehículos y aeronaves a baja cota. Se estima que dispone de entre 2 y 4 vehículos ligeros de transporte táctico (VLTT), lo que refuerza su movilidad y capacidad de despliegue rápido sobre el terreno.*

#### *ARMAMENTO:*

*Fusil de Asalto 7,62 mm, AMM 7,62 mm, Antiaéreo 9K38 IGLA, Antitanque RPG-7*

#### *MATERIAL:*

*2-4 VLTT*

*NIVEL DE ADIESTRAMIENTO: Alto*

*MORAL: Alta*

A partir de esta información, los alumnos sacaron las siguientes conclusiones:

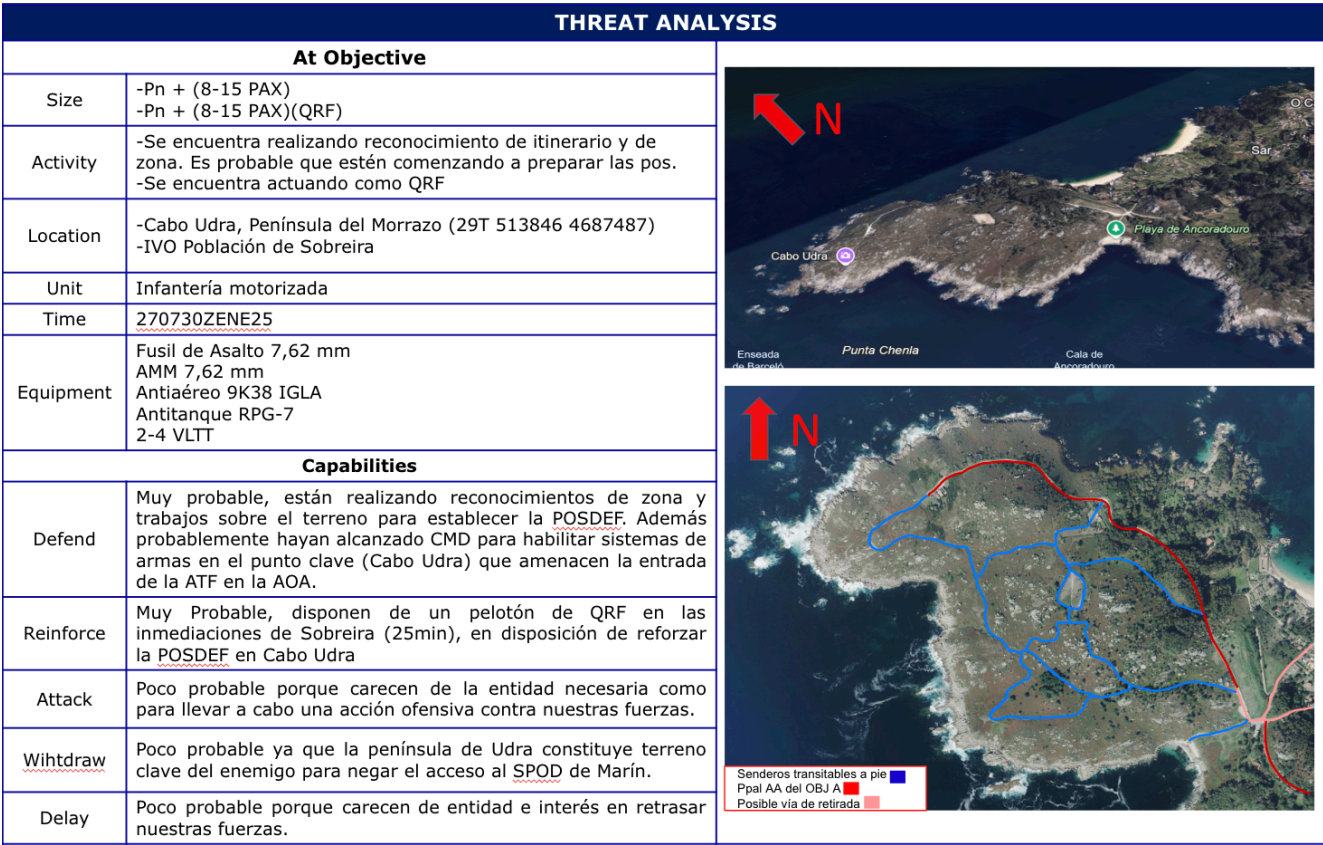


Figura 4-42. SALUTE Y DRAWD Udra. Fuente: Creación propia

En este caso, el análisis doctrinal realizado a través del método DRAWD vuelve a identificar como Línea de Acción más probable la defensa, calificándola como muy probable debido a que el enemigo ya se encuentra realizando reconocimientos y trabajos preparatorios sobre el terreno, orientados a establecer su posición defensiva (POSDEF). Se considera incluso que han alcanzado un grado de organización del terreno tipo CMD, lo que les permitiría habilitar sistemas de armas en puntos clave —en este caso, Cabo Udra—, desde donde pueden amenazar el eje de entrada de nuestra ATF en la AOA. Esta valoración refuerza la hipótesis de que el enemigo busca consolidar una defensa firme sobre un terreno de alto valor táctico.

Asimismo, se señala como muy probable la opción de refuerzo, sustentada en la presencia de una unidad de reacción rápida (QRF) en las proximidades de Sobreira, con un tiempo estimado de llegada de 25 minutos, lo que representa una capacidad real de apoyo inmediato a las unidades defensivas en Cabo Udra. En contraste, las acciones de ataque, retirada y retraso se valoran como poco probables, principalmente por razones de capacidad y propósito estratégico. El enemigo carece de entidad suficiente para llevar a cabo una ofensiva efectiva, y no se considera probable que se retire, ya que la península de Udra constituye un punto clave para negar el acceso de nuestras fuerzas al SPOD de Marín, lo que justifica su empeño en mantenerse en la zona. Por último, se descarta también la posibilidad de acciones de retraso, tanto por la escasa entidad del enemigo como por su falta de interés en ralentizar nuestro avance si su objetivo es mantener el terreno.

Tal como se ha indicado en todos los casos previos, la opción de ataque directo ha quedado excluida del presente estudio, debido a la complejidad táctica que implica su valoración e implementación dentro del modelo lógico actual.

Para la parametrización de la fuerza enemiga en el programa vamos a tomar de referencia un Pelotón+ de infantería motorizada, con una moral y adiestramiento altos y experiencia en combate establecidos en CMD. De esta forma los resultados serían los siguientes:

Virtual Analysis for Decision and Engagement Readiness (VADER)

☐ E. FUEGO   ☐ E. FUEGO  
☐ PELOTÓN   ☐ PELOTÓN  
☐ PELOTÓN +   ☒ PELOTÓN +  
☐ SECCIÓN   ☐ SECCIÓN  
☐ SECCIÓN +   ☐ SECCIÓN +  
☐ COMPAÑÍA-   ☐ COMPAÑÍA-  
☒ COMPAÑÍA   ☐ COMPAÑÍA  
☐ COMPAÑÍA+   ☐ COMPAÑÍA+  
☒ LIGERA   ☐ LIGERA  
☐ MOTORIZADA   ☒ MOTORIZADA  
☐ MECANIZADA   ☐ MECANIZADA  
☐ ACORAZADA   ☐ ACORAZADA  
☐ AD\_ALTO   ☒ AD\_ALTO  
☒ AD\_MEDIO   ☐ AD\_MEDIO  
☐ AD\_BAJO   ☐ AD\_BAJO  
☒ MO\_ALTA   ☒ MO\_ALTA  
☐ MO\_MEDIA   ☐ MO\_MEDIA  
☐ MO\_BAJA   ☐ MO\_BAJA  
☐ CON\_EXP   ☒ CON\_EXP  
☒ SIN\_EXP   ☐ SIN\_EXP  
☒ OT\_CMD  
☐ OT\_OL  
☐ OT\_OM

Calcular

POTCOMB RELATIV 1.7857321430357158

\*\*\*Organización del terreno CMD\*\*\*  
 Tenemos una ventaja muy baja al 0.0%  
 Tenemos una ventaja baja al 0.0%  
 Tenemos una ventaja media al 71.4%  
 Tenemos una ventaja alta al 28.6%  
 Tenemos una ventaja muy alta al 0.0%  
 \*\*\*\*\*  
 Probabilidad de que el enemigo se defienda: 65.49%  
 Probabilidad de que el enemigo se refuerce: 85.22%  
 Probabilidad de que el enemigo se retire: 34.51%  
 Probabilidad de que el enemigo intente retrasar: 20.13%  
 \*\*\*\*\*  
 Lo más probable es que el enemigo se refuerce  
 o que en su defecto se defienda  
 \*\*\*\*\*

Figura 4-43. Resultados VADER Udra. Fuente: Creación propia

Los resultados proporcionados por la aplicación muestran una probabilidad del 65.49% de que el enemigo se defienda, lo cual, aunque algo más moderado que la valoración doctrinal de “muy probable”, mantiene coherencia con el análisis realizado, especialmente al considerar que el sistema valora solo factores cuantitativos (potencia de combate relativa y tipo de terreno), sin incorporar aún aspectos como la preparación previa del terreno o el valor estratégico del objetivo. La probabilidad de refuerzo, con un 85.22%, encaja plenamente con la estimación doctrinal, que identificaba una alta capacidad de refuerzo inmediato gracias a la proximidad de una unidad QRF a tan solo 25 minutos, lo que refuerza la solidez del resultado.

En cuanto a la probabilidad de retirada, que se sitúa en un 34.51%, esta aparece nuevamente más alta de lo esperado si se compara con el juicio doctrinal, que la consideraba poco probable debido a la importancia estratégica de la península de Udra para negar el acceso al SPOD de Marín. Este desajuste, al igual que en el caso anterior, puede explicarse por la ausencia de reglas lógicas basadas en la finalidad estratégica del enemigo, que, de estar implementadas, reducirían este valor. Finalmente, la probabilidad de que el enemigo intente retrasar el avance, estimada en 20.13%, se encuentra dentro de una lógica

aceptable, dada la baja entidad del enemigo y su falta de interés manifiesto en ejecutar maniobras dilatorias, tal como recogía el análisis doctrinal.

## 5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 5.1 Conclusiones de escenarios sencillos

Los resultados obtenidos en los escenarios ficticios simples demuestran que el sistema funciona correctamente cuando se enfrenta a situaciones claras y bien definidas. En todos los casos, las salidas ofrecidas por el programa se alinearon con lo que se esperaría en la realidad, mostrando una lógica muy similar a la que aplicaría cualquier oficial de Infantería de Marina con experiencia. Ante una situación de superioridad clara por parte de nuestras fuerzas, el sistema reflejó una alta probabilidad de que el enemigo se retirase o se reforzase, y lo contrario en un escenario de desventaja. En el caso igualado, el reparto de probabilidades entre las diferentes opciones fue equilibrado, lo cual tiene sentido ante una situación incierta o sin una ventaja clara.

Estas pruebas confirman que el sistema, incluso con una estructura sencilla y sin tener en cuenta aún factores más complejos, reacciona de forma coherente y realista. Para escenarios básicos, se comporta como cabría esperar en un entorno operativo real, lo que refuerza su validez como herramienta de apoyo en el análisis táctico.

### 5.2 Conclusiones de escenarios didácticos complejos

A diferencia de los escenarios sencillos analizados previamente, los casos doctrinales que se presentan aquí tienen mucha más profundidad táctica y operativa, lo que exige un análisis más detallado y cuidadoso. Aunque el sistema ha demostrado comportarse de forma coherente, hay ciertas limitaciones importantes que deben tenerse en cuenta. En primer lugar, el programa se centra únicamente en las fuerzas presentes en el objetivo, sin contemplar la capacidad del enemigo para recibir refuerzos o integrar apoyos cercanos. Esto quedó especialmente claro en el caso del ejercicio táctico en la sierra de A Fracha, donde fue necesario modificar manualmente los parámetros del enemigo para reflejar su potencia real, teniendo en cuenta los fuegos y elementos de refuerzo disponibles. Este ajuste externo pone de manifiesto una primera limitación importante, ya que el sistema actualmente no está diseñado para valorar dinámicas de refuerzo, lo cual reduce la fidelidad del análisis en situaciones realistas.

Además, el sistema no contempla la posibilidad de ataque o contraataque por parte del enemigo, lo que limita las opciones de análisis a un conjunto fijo de acciones. Esto se relaciona directamente con otra limitación crítica, que es la ausencia de una lógica basada en la misión o el propósito del enemigo. Sin entender qué busca lograr el adversario —si mantener una posición, desgastar, ganar tiempo o simplemente causar inestabilidad— es muy difícil valorar con precisión qué línea de acción es más probable.

A estas limitaciones se suma una cuestión estructural: el modelo solo considera escenarios clásicos de enfrentamiento ofensivo-defensivo, en los que nuestras fuerzas atacan y el enemigo defiende. Sin embargo, en el entorno operativo actual existen muchas más situaciones posibles, como operaciones de contrainsurgencia, estabilización, defensa por parte de nuestras propias fuerzas, presencia disuasoria o control de zonas grises, que no se ajustan al esquema binario actual del programa. En estos casos, el comportamiento del enemigo no puede predecirse únicamente a partir de la relación de potencias, ya que entran en juego factores políticos, sociales y de percepción, que no están reflejados en el modelo.

En conclusión, aunque el sistema es útil y ofrece resultados fieles cuando se parametriza adecuadamente, su aplicación debe hacerse con conocimiento de sus límites. Para alcanzar un análisis más realista y completo será necesario ampliar el enfoque, considerando no solo las fuerzas enfrentadas en el objetivo, sino el contexto más amplio en el que operan, y adaptando la lógica del sistema a distintos tipos de misiones y entornos operativos.

### **5.3 Posibles líneas de investigación**

Desde una perspectiva tecnológica y de ingeniería informática, las posibilidades de evolución del sistema desarrollado son amplias y muy prometedoras. Actualmente, el modelo se basa en un enfoque de lógica difusa clásica, estructurado sobre reglas predefinidas y relaciones entre entradas discretas parametrizadas según valores doctrinales. Si bien esto ofrece una aproximación robusta y coherente en escenarios controlados, el siguiente salto cualitativo podría venir de la integración con técnicas de inteligencia artificial más avanzadas, que permitan dotar al sistema de capacidad adaptativa, contextual y de comprensión semántica. Una línea especialmente potente sería el uso de modelos de lenguaje de gran escala (LLMs), como los desarrollados en arquitecturas tipo Transformer (e.g., GPT, BERT, LLaMA), que tienen la capacidad de interpretar texto doctrinal y órdenes operativas en lenguaje natural, y traducir esa información en decisiones tácticas contextualizadas. Mediante un entrenamiento específico sobre documentación doctrinal de la Armada Española y ejemplos de casos tácticos reales o simulados, estos modelos podrían aprender a reconocer intenciones, patrones de acción, estructura de órdenes y condiciones de misión, proporcionando respuestas que no dependan únicamente de reglas preestablecidas, sino de la interpretación real del entorno y de la finalidad operativa.

Por otro lado, el uso de redes neuronales profundas (DNNs), especialmente aquellas orientadas al reconocimiento de patrones secuenciales como las LSTM o las Redes Neuronales Recurrentes (RNNs), permitiría modelar la evolución dinámica del combate a lo largo del tiempo, evaluando cómo cambian las probabilidades de acción del enemigo en función del desarrollo de la operación y de la aparición de nuevos eventos (llegada de refuerzos, cambios en el terreno, pérdida de efectivos, etc.). También podrían integrarse modelos de aprendizaje por refuerzo profundo (Deep Reinforcement Learning), en los que un agente aprende a tomar decisiones óptimas en un entorno complejo mediante prueba y error, utilizando recompensas basadas en criterios de éxito doctrinal (cumplimiento de misión, minimización de bajas, superioridad táctica mantenida, etc.). En este caso, el sistema podría “jugar” múltiples escenarios simulados, aprendiendo no solo qué hacer ante una situación concreta, sino por qué una decisión es mejor que otra en términos operativos.

Además, una ventaja del enfoque actual es que ya cuenta con una estructura bien definida de parámetros, basada en datos doctrinales reales, lo cual puede usarse como punto de partida o como sistema de etiquetado supervisado para entrenar modelos con datasets sintéticos o históricos. Por ejemplo, se podría construir un conjunto de entrenamiento a partir de registros de ejercicios militares, partes de inteligencia, y decisiones tomadas por mandos reales, vinculándolos a resultados operacionales. Así, la IA no solo se alimentaría de datos abstractos, sino de casuística militar real, afianzando su validez en el mundo operativo. Combinado con motores de simulación, adaptados a un entorno doctrinal español, se podrían generar miles de escenarios para entrenamiento automático.

Por último, integrar esta inteligencia con interfaces visuales dinámicas —por ejemplo, mapas interactivos con análisis predictivo de áreas clave, rutas probables de avance, zonas de influencia

enemiga, etc.— permitiría crear una herramienta completa de apoyo al planeamiento, útil tanto en entornos de instrucción como en operaciones reales. La clave está en que este tipo de tecnología no reemplazaría al criterio del mando, sino que le ofrecería una segunda opinión fundamentada en datos, doctrina e interpretación de contexto, que pueda mejorar la velocidad y calidad del proceso de toma de decisiones. En conjunto, todo esto abre la puerta a desarrollar un sistema híbrido que combine la solidez doctrinal con la versatilidad cognitiva de la IA moderna, orientado no solo a escenarios ofensivo-defensivos clásicos, sino también a situaciones de contrainsurgencia, operaciones urbanas, defensa del territorio o entornos de guerra híbrida, cada vez más comunes en el panorama operativo actual.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] [L. Arévalo, «Efficiency and training of deep neural networks», CIDAI. Accedido: 22 de febrero de 2025. \[En línea\]. Disponible en: https://cidai.eu/en/efficiency-and-training-of-deep-neural-networks/](https://cidai.eu/en/efficiency-and-training-of-deep-neural-networks/)
- [2] [«Desbloqueando el Potencial de las Redes Neuronales: Estrategias Expertas». Accedido: 22 de febrero de 2025. \[En línea\]. Disponible en: https://es.rogersoftware.com/inteligencia-artificial-y-aprendizaje-autom%C3%A1tico/desbloqueando-el-potencial-de-las-redes-neuronales-estrategias-expertas?](https://es.rogersoftware.com/inteligencia-artificial-y-aprendizaje-autom%C3%A1tico/desbloqueando-el-potencial-de-las-redes-neuronales-estrategias-expertas?)
- [3] [«¿Qué son las redes neuronales? | IBM». Accedido: 22 de febrero de 2025. \[En línea\]. Disponible en: https://www.ibm.com/es-es/topics/neural-networks](https://www.ibm.com/es-es/topics/neural-networks)
- [4] [World of Conferences, «XVII international scientific conference. Dortmund. Germany. 07-08.11.2024», 8 de noviembre de 2024, \*World of Conferences\*. doi: 10.5281/ZENODO.14170940.](https://zenodo.org/record/14170940)
- [5] [«World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences», doi: 10.30574/wjaets.](https://www.worldjournalofadvancedengineeringtechnologyandsciences.com)
- [6] [Y. Y. M. Aung, D. C. S. Wong, y D. S. W. Ting, «The promise of artificial intelligence: a review of the opportunities and challenges of artificial intelligence in healthcare», \*Br. Med. Bull.\*, vol. 139, n.º 1, pp. 4-15, sep. 2021, doi: 10.1093/bmb/ldab016.](https://doi.org/10.1093/bmb/ldab016)
- [7] [A. Rauf y S. Iqbal, «Impact of Artificial Intelligence in Arms Race, Diplomacy, and Economy: A Case Study of Great Power Competition between the US and China», \*Glob. Foreign Policies Rev.\*, vol. VI, n.º III, pp. 44-63, sep. 2023, doi: 10.31703/gfpr.2023\(vi-iii\).05.](https://doi.org/10.31703/gfpr.2023(vi-iii).05)
- [8] [« José Angel Olivas Varela. Doctor Ingeniero en Informática. Profesor de Inteligencia Artificial en la Universidad de Castilla. LA LOGICA BORROSA Y SUS APLICACIONES».](#)

- [9] [S. Saraswat, B. Keswani, y V. Saraswat, «THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HEALTHCARE: APPLICATIONS AND CHALLENGES AFTER COVID-19», \*Int. J. Tech. Res. Sci.\*, vol. 8, n.º 03, mar. 2023, doi: 10.30780/IJTRS.V08.I03.002.](#)
- [10] [Noluthando Zamanjomane Mhlomo, Titilola Falaiye, Andrew Ifesinachi Daraojimba, Odeyemi Olubusola, y Adeola Olusola Ajayi-Nifise, «Artificial Intelligence in stock broking: A systematic review of strategies and outcomes», \*World J. Adv. Res. Rev.\*, vol. 21, n.º 2, pp. 1950-1957, feb. 2024, doi: 10.30574/wjarr.2024.21.2.0442.](#)
- [11] [L. Cao, «AI in Finance: A Review», \*ACM Comput Surv\*, vol. 9, n.º 4.](#)
- [12] [G. Phillips-Wren, «AI TOOLS IN DECISION MAKING SUPPORT SYSTEMS: A REVIEW», \*Int. J. Artif. Intell. Tools\*, vol. 21, n.º 02, p. 1240005, abr. 2012, doi: 10.1142/s0218213012400052.](#)
- [13] [«Human-AI Cooperation to Benefit Military Decision Making».](#)
- [14] [S. Lucarelli, A. Marrone, y F. N. Moro, «NATO Decision-Making in the Age of Big Data and Artificial Intelligence».](#)
- [15] [A. de Reus, «Empowering Military Decision Support through the Synergy of AI and Simulation».](#)
- [16] [H. Borchert, T. Schütz, y J. Verbovszky, Eds., \*The Very Long Game: 25 Case Studies on the Global State of Defense AI\*. en Contributions to Security and Defence Studies. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. doi: 10.1007/978-3-031-58649-1.](#)
- [17] [J. L. C. Pérez, «DEBATE INTERNACIONAL EN TORNO A LOS SISTEMAS DE ARMAS AUTÓNOMOS LETALES. CONSIDERACIONES TECNOLÓGICAS, JURÍDICAS Y ÉTICAS».](#)
- [18] [J. Edmonds \*et al.\*, «Artificial Intelligence and Autonomy in Russia».](#)
- [19] [Instituto Español de Estudios Estratégicos, Ed., \*La inteligencia artificial en la geopolítica y los conflictos\*. en Cuadernos de Estrategia, no. 226. Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica, 2024.](#)
- [20] [M. Joshi y P. Das, «The Future of War in South Asia: Innovation, Technology and Organisation».](#)
- [21] [Shukla Abhinav, Choudhary Mukesh, Tailor Chirag, Dangi Gautam, y A. Rao, «MULTI PURPOSE FIXED WING UAV MULTI PURPOSE FIXED WING UAV», 2022, doi: 10.13140/RG.2.2.33912.87049.](#)

- [22] [«Revista General De Marina. Aplicaciones De La Inteligencia Artificial En La Industria De La Defensa. TN Javier Vereda Gorgé rgmmar2024\\_Parte08»](#)
- [23] [«Revista General De Marina. Enseñanza Naval y Entorno 4.0. CN Alfonso Valles Salés. rgm080918cap14».](#)
- [24] [«OR5-014 DATOS DESARROLLO CONFRONTACIÓN LA.S. MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA, DIRECCIÓN DE DOCTRINA, ORGÁNICA Y MATERIALES».](#)
- [25] [«Marine Corps Planning Proccess. BAMCIS. Marine Corps Warfighting Publication \(MCWP\) 5-10».](#)
- [26] «Publicación de Doctrina de Táctica Nacional. D-RIM-4-101 El pelotón de fusiles Ed (A) Versión 1 de Abril 2024».

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

Aunque el desarrollo de herramientas de inteligencia artificial aplicadas al ámbito militar suele abordarse desde una perspectiva técnica y operativa, las implicaciones sociales, económicas y ambientales asociadas a su uso no pueden ser ignoradas. En un contexto donde las tecnologías emergentes están cada vez más entrelazadas con objetivos estratégicos globales —como los establecidos en la Agenda 2030—, cualquier sistema basado en IA, incluso en el entorno castrense, debe valorarse también por su impacto en aspectos que van más allá del campo de batalla.

La automatización parcial del análisis táctico mediante IA puede generar transformaciones culturales dentro de las Fuerzas Armadas. El tradicional proceso de toma de decisiones basado en la experiencia humana y la jerarquía puede verse alterado por la introducción de sistemas automatizados que proponen alternativas y probabilidades en base a datos. Esto exige una formación adaptada para los cuadros de mando, no solo en el uso técnico de la herramienta, sino en la comprensión crítica de sus salidas, promoviendo un liderazgo que combine capacidad operativa con alfabetización tecnológica.

Además, si estas tecnologías se consolidan y escalan, podrían aplicarse también en contextos civiles —protección civil, emergencias, seguridad fronteriza—, lo que plantea cuestiones sobre su regulación, control y acceso. La línea entre uso militar y civil se difumina, y con ello, surgen debates sobre privacidad, sesgos algorítmicos y transparencia.

Desde el punto de vista económico, el uso de IA en el planeamiento puede suponer una optimización considerable de recursos. Mejorar la calidad de las decisiones, reducir errores tácticos y anticipar acciones enemigas puede evitar el desgaste innecesario de medios, personal y materiales. Esto implica ahorro directo en costes operativos y mantenimiento.

Además, el desarrollo de herramientas propias de análisis militar basadas en IA puede fomentar una industria nacional de defensa tecnológica, reduciendo la dependencia de proveedores externos y fortaleciendo la soberanía tecnológica. Si el software se construye sobre un marco modular, con lógica transparente y adaptable, incluso podría tener salida en el sector privado (seguridad, logística, emergencias), generando retornos económicos fuera del entorno militar.

Aunque a primera vista el impacto ambiental de una herramienta como la desarrollada en este trabajo pueda parecer insignificante, hay que tener en cuenta dos escenarios clave. Por un lado, si se generaliza el uso de sistemas de IA con procesamiento local en unidades tácticas, aumenta la necesidad de dispositivos con potencia de cálculo, conectividad y almacenamiento. Esto podría generar una mayor demanda energética y de hardware especializado, con sus respectivas implicaciones en términos de huella de carbono y residuos electrónicos.

Por otro lado, si en futuras versiones se migrase a modelos más complejos —como redes neuronales profundas o sistemas basados en aprendizaje automático continuo—, el consumo energético derivado del entrenamiento y despliegue de modelos podría ser mucho mayor. La sostenibilidad del uso militar de la IA no debe medirse solo en eficacia operativa, sino también en su impacto energético y material, especialmente si se quiere alinear con los criterios de eficiencia y responsabilidad recogidos en las políticas medioambientales actuales.

Iniciativas como el desarrollo de modelos ligeros, el uso de hardware optimizado (por ejemplo, chips con eficiencia energética mejorada) o la implementación de entornos de entrenamiento sostenibles podrían formar parte de futuras líneas de mejora para garantizar que la innovación tecnológica en defensa también sea respetuosa con el medioambiente.

## ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

El uso de inteligencia artificial en entornos militares plantea preguntas que van más allá de la eficacia operativa o el rendimiento técnico. Cuando hablamos de automatizar partes del proceso de toma de decisiones en situaciones donde hay vidas humanas en juego, no solo debemos preguntarnos si se puede hacer, sino si se debe hacer, hasta qué punto, y bajo qué condiciones. En este contexto, el desarrollo de una herramienta que evalúa escenarios tácticos y estima la respuesta probable de un enemigo, como la que se plantea en este trabajo, abre un debate que toca directamente la ética del mando, la responsabilidad humana y la naturaleza misma del juicio militar.

En la teoría, una IA puede procesar más datos, más rápido, y con menos sesgos personales que un ser humano. Puede evaluar cientos de variables sin fatiga, sin emociones, y sin presión. Pero esa "objetividad" que se suele atribuir a la IA no es real: cualquier sistema está diseñado, entrenado y ajustado por personas, con sus propias limitaciones, creencias y marcos mentales. El modelo no es neutral: es el reflejo de quienes lo construyen. En un entorno como el militar, donde cada decisión puede tener consecuencias irreversibles —desde bajas humanas hasta impactos políticos o estratégicos—, confiar ciegamente en una herramienta automatizada sin supervisión humana es un riesgo que no se puede justificar.

Otro aspecto clave es la transparencia del proceso de decisión. Mientras que un oficial puede explicar por qué tomó una determinada acción basándose en la misión, el terreno, la moral de su unidad o su conocimiento del enemigo, una IA no siempre puede explicar cómo ha llegado a su conclusión. Muchos modelos complejos, como redes neuronales profundas, funcionan como auténticas "cajas negras", donde ni siquiera los desarrolladores pueden descomponer cada paso del razonamiento. Esta falta de explicabilidad rompe la cadena de mando tradicional, donde la responsabilidad es clara y jerárquica. Si una IA recomienda una acción que sale mal, ¿quién responde por ella? ¿El operador? ¿El programador? ¿El algoritmo?

Además, en el combate real, no todo es cálculo. Hay intuición, experiencia, principios, e incluso humanidad. Un oficial puede decidir no atacar porque sabe que hay civiles, porque percibe que algo no encaja o porque sufre una corazonada basada en años de servicio. Una IA no tiene ese instinto, no conoce el miedo, ni la compasión, ni el honor. Y aunque eso le dé "ventajas" en términos fríos de cálculo, también la desconecta del factor humano, que es precisamente lo que da sentido ético a las decisiones militares.

La delegación excesiva en sistemas automáticos también puede generar una erosión progresiva del juicio humano. Si confiamos en que la IA siempre "calcule mejor", los mandos pueden empezar a depender de ella incluso cuando no deberían. La supervisión se vuelve pasiva, y el pensamiento crítico, que es esencial en la profesión militar, corre el riesgo de atrofiarse. Es el clásico dilema del piloto automático: cuanto más fiable es la máquina, menos preparados estamos para intervenir cuando falla.

Por último, está el dilema moral más grande de todos: la despersonalización del conflicto. Si se normaliza que las máquinas tomen decisiones que afectan a la vida y la muerte, ¿hasta qué punto se deshumaniza la guerra? ¿Qué tipo de cultura militar se construye cuando la responsabilidad se delega a un sistema que no siente, no entiende el valor del sacrificio, ni conoce el precio real del error?

Por todo esto, cualquier avance tecnológico en el ámbito militar debe ir acompañado de una reflexión ética seria, continua y sin autoengaños. La inteligencia artificial puede ser un apoyo valioso, incluso imprescindible, pero nunca debe sustituir la capacidad de juicio de un ser humano formado, consciente y responsable. La supervisión no es una opción; es una obligación. Porque por muy buena que sea la máquina, la guerra sigue siendo —y debe seguir siendo— un asunto humano.