

1.5

La Inteligencia Artificial aplicada a la Defensa Aérea: el caso del Sistema "Iron Dome"

Por el CR A (R) OIM José Alberto Guglielmone (*)

Temario

Introducción.

El Sistema de Armas "Iron Dome".

La Defensa Multicapa Israelí.

Arquitectura del Sistema "Iron Dome".

Lógica operativa del Sistema Iron Dome.

Funciones y aportes de la IA al SDA "Iron Dome".

Conclusiones

PALABRAS CLAVE: INTELIGENCIA ARTIFICIAL- IA- IRON DOME - DEFENSA AÉREA

Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) está transformando profundamente la vida de las personas y la manera en que se desarrollan los sistemas, los negocios y las industrias. Sus aplicaciones abarcan desde asistentes de voz, conducción autónoma y diagnóstico médico automatizado, hasta reconocimiento visual, videojuegos, detección de oportunidades de negocio, y prevención de riesgos y ataques. Estas tecnologías no se limitan a sectores tecnológicos, sino que se extienden a todas las industrias y servicios, creando un impacto transversal en la sociedad. Además, la IA impulsa la creación de nuevas empresas y abre puertas a oportunidades de negocio innovadoras.

Actualmente las organizaciones operan en un entorno caracterizado por las siglas **VUCA+H**¹, (volatilidad, incertidumbre, complejidad, ambigüedad, hiperconectividad), en este contexto, la implementación de herramientas de IA se convierte en un aliado estratégico, permitiendo a las orga-

1 VUCA+H: que se refieren a Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity, Hyperconnectivity (volatilidad, incertidumbre, complejidad, ambigüedad, hiperconectividad)

nizaciones comprender mejor su entorno, optimizar su funcionamiento y adaptarse a los desafíos. Entre las aplicaciones típicas de la IA destacan la reducción de costos operativos, la mejora en la experiencia del cliente y el incremento de ventas.

Este mismo enfoque puede aplicarse a los conflictos armados modernos, que se desarrollan en escenarios igualmente VUCA+H. La volatilidad y la incertidumbre están presentes en la rápida evolución de los frentes de combate y la dificultad para anticipar acciones enemigas. La complejidad surge de la participación de múltiples actores, tecnologías y dominios (físico, digital, informacional), mientras que la ambigüedad se refleja en la difusa identificación de amenazas y objetivos. Finalmente, la hiperconectividad amplifica los efectos de la información y exige capacidad de reacción en tiempo real.

La IA está revolucionando especialmente la industria del software y los métodos de trabajo, actúa como una herramienta estratégica que potencia la productividad, eficiencia y eficacia, acelerando significativamente el desarrollo de proyectos tecnológicos. Tecnologías avanzadas como el Aprendizaje Profundo (Deep Learning) y las Redes Neuronales Convolucionales (CNN-Convolutional Neural Network) están liderando avances en campos como el reconocimiento de imágenes y el Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP- Natural Language Processing). Estas tecnologías no solo son innovadoras, sino que están redefiniendo los límites de lo que es posible en ciencia y tecnología.

En el ámbito del desarrollo de software, herramientas como los copilotos de programación, basados en modelos de IA, están aumentando la productividad de los desarrolladores al automatizar tareas repetitivas y asistir en la generación de código. Asimismo, los sistemas de recomendación, impulsados por algoritmos de aprendizaje automático, están transformando la personalización de productos y servicios, lo que contribuye a elevar la satisfacción del cliente.

Como vemos, la IA ha dejado de ser un concepto futurista para convertirse en una realidad tangible que está transformando todos los aspectos de nuestra vida, y el **ámbito de la defensa**, no es una excepción, este artículo explorará cómo la IA está impactando en el desarrollo de los sistemas de defensa y cómo tiene el potencial de revolucionar las estrategias militares del futuro.

El **entrenamiento** mediante los **simuladores**², han evolucionado a lo largo del tiempo, hoy impulsados por IA posibilitan mayores capacidades. Estos sistemas son preparados para adaptarse en tiempo real a las acciones de los participantes, ofreciendo una experiencia de entrenamiento más inmersiva y efectiva. Esta tecnología no solo mejora las habilidades individuales, sino que también puede simular dinámicas de equipo, tácticas complejas y escenarios de combate asimétrico.

La **ciberseguridad** es un componente crucial de la defensa moderna. A medida que las tecnologías digitales se integran en las operaciones militares, las amenazas cibernéticas se vuelven cada vez más sofisticadas. En este ámbito, la IA puede ser una herramienta clave, capaz de identificar patrones anómalos en las redes, detectar intrusiones antes de que se conviertan en problemas y responder de manera rápida y eficaz. Estos sistemas no solo protegen información sensible, sino que también aseguran que las operaciones militares puedan llevarse a cabo sin interrupciones. Sin embargo, también es importante destacar que los adversarios están utilizando la misma tecnología para desarrollar ataques más complejos. La carrera por la superioridad cibernética está en marcha, y la IA es el nuevo campo de batalla.

La **logística**, mediante la IA tiene el potencial de revolucionar optimizando el suministro y la distribución de recursos en el campo de batalla. Sistema que pueda prever las necesidades de las

² Simuladores: ver artículo TEC1000-2016; "Los sistemas de simulación: otra forma de entrenar para el combate."

tropas, basándose en las condiciones del terreno, el clima y las acciones del enemigo. Este tipo de tecnología podría reducir significativamente los tiempos de respuesta y aumentar la eficiencia operativa. La capacidad de anticipar necesidades y gestionar recursos de manera efectiva es crucial en situaciones de combate, donde el factor tiempo es fundamental para el desarrollo de las operaciones.

En los **sistemas de armas**, la IA participa realizando tareas que normalmente realizan las personas, como el aprendizaje, la resolución de problemas cada vez más complejos y la toma de decisiones. En el ámbito de la defensa, mediante las capacidades tecnológicas cada vez más avanzadas, se traduce en sistemas capaces de analizar y procesar grandes volúmenes de datos de información en tiempo real, predecir el comportamiento del enemigo optimizando estrategias de combate y recomendando las acciones más convenientes y efectivas. Lo novedoso de estas tecnologías, es que pueden aprender de su entorno, adaptarse a nuevas situaciones y operar de manera autónoma. Esto no solo incrementa su eficacia, sino que también reduce el riesgo para los soldados en el campo de batalla.

Mirando hacia el futuro, la IA tiene el potencial para transformar las estrategias de defensa, en lugar de batallas convencionales, podríamos ver conflictos asimétricos, que se libren en múltiples escenarios simultáneamente, estos serían más complejos y difíciles de predecir, requiriendo una nueva forma de pensar sobre la guerra.

Los conductores deberán adaptarse a un entorno en constante cambio, donde la tecnología y la IA desempeñan un papel crucial en las operaciones, esto implica no solo adoptar estas tecnologías, sino también desarrollar estrategias éticas, legales y operativas que aseguren su correcto uso.

El sistema de armas “Iron Dome³”

Vamos a analizar la aplicación de la IA en un sistema de armas específico: el “**Iron Dome**”, haciendo la analogía, adjetivándola a una “Cúpula de Hierro”, como si esta fuera infranqueable y lograr así la confianza de la población, no solamente por su nombre sino, lo que es primordial, por sus resultados. Este **Sistema de Defensa Aérea** ha cobrado relevancia mundial debido a su capacidad para interceptar y neutralizar amenazas aéreas, especialmente a la luz de los recientes conflictos entre Israel y el grupo terrorista Hamás en la región de la Franja de Gaza. Mostraremos como el Iron Dome es un claro ejemplo de cómo la IA puede integrarse en sistemas de armas para maximizar su eficacia y minimizar riesgos. Si bien el sistema no es perfecto, su capacidad para proteger vidas civiles en un entorno de alta amenaza lo convierte en una herramienta indispensable para Israel. Su desarrollo y operación reflejan cómo la tecnología puede ser utilizada estratégicamente para abordar desafíos complejos en el ámbito de la defensa moderna.

El contexto que dio origen al desarrollo del Iron Dome es crucial para entender su importancia. Entre los años 2000 y 2008, se lanzaron aproximadamente 8.000 proyectiles desde Gaza hacia Israel, la mayoría por parte de Hamás. Estos ataques representaban un riesgo constante para la población civil, obligando al gobierno israelí a buscar una solución eficaz para proteger a sus ciudadanos. En febrero de 2007, el Ministerio de Defensa israelí decidió desarrollar un sistema de defensa aérea móvil como respuesta a esta creciente amenaza.

El Iron Dome fue desarrollado por *Rafael Advanced Defense Systems* e *Israel Aerospace Industries*, dos de las principales compañías tecnológicas de Israel, supervisado por el IMDO⁴, con el apoyo financiero y técnico de Estados Unidos. Tras varios años de investigación y desarrollo, el sistema

³ Iron Dome: llamado Kipat Barzel en hebreo.

⁴ IMDO: Organización de Defensa de Misiles de Israel, es una división de la Dirección de Investigación y Desarrollo de Defensa (DDR&D) del Ministerio de Defensa de Israel.

se declaró operativo en marzo de 2011, siendo desplegado cerca de la ciudad de Beersheba, a más de 100km de Tel Aviv. El primer cohete Grad, fue interceptado en 7 de abril de ese mismo año, disparado desde la Franja de Gaza hacia la ciudad israelí de Ascalón, y ya en noviembre había neutralizado más de 400 amenazas aéreas. Desde entonces, ha demostrado ser un componente clave de la defensa Israelí.

Este sistema se encuentra preparado para actuar en la capa más baja o **última capa** del complejo Sistema de Defensa Aérea, posee la singular característica y única en su tipo, que es tener la posibilidad de actuar operativamente con **doble propósito**, pudiendo ser empleado como sistema misilístico de muy corto alcance VSHORAD⁵, contra objetivos aéreos tradicionales, tales como aviones, helicópteros, UAVs, o bien la otra misión que es la que le permite actuar contra amenazas asimétricas, como cohetes lanzados de corto

alcance desde los cuatro kilómetros hasta los setenta kilómetros, contra C-RAM⁶, y actualmente contra drones de diferentes tipos.

Desde su instalación en 2011, el Iron Dome ha evolucionado significativamente, no solo gracias al avance natural de la tecnología, sino también debido a su constante despliegue en escenarios de combate reales. Esta experiencia operativa constante, le ha permitido ser un sistema "**probado en combate**", lo que representa una ventaja clave frente a otros sistemas que permanecen inactivos o se desarrollan en condiciones de laboratorio.

La experiencia en el campo de batalla proporciona datos críticos que pueden ser analizados para identificar fallos, optimizar el rendimiento y adaptar el sistema a nuevas amenazas. Esta retroalimentación frecuente permite una evolución acelerada y una mejora continua, manteniendo al Iron Dome siempre actualizado y listo para enfrentar desafíos emergentes.

A diferencia de sistemas que no han sido probados en combate, el Iron Dome no solo incorpora tecnología avanzada, sino que también se beneficia de una validación práctica en situaciones reales. Esto garantiza que sus capacidades no sean teóricas, sino demostradas bajo las condiciones más exigentes, lo que refuerza su fiabilidad y eficacia como sistema de defensa.

Además, esta experiencia ha facilitado la incorporación de mejoras innovadoras, como la optimización del uso de interceptores para reducir costos operativos y el desarrollo de capacidades para enfrentar amenazas más complejas, como drones o proyectiles simultáneos.

En otros artículos publicados en TEC1000⁷, hemos señalado que, cuando hablamos de defensa aérea, no podemos enfocarnos en un único sistema de armas, sino por múltiples sistemas que

FIGURA 1: LANZADORES DE IRON DOME



Fuente: Rafael Advanced Defense Systems

⁵ VSHORAD: Very Short Range Air Defence Systems (Sistemas de Defensa Aérea de muy corto alcance)

⁶ C-RAM: Counter Rocket, Artillery & Mortar (Contra Cohetes, Artillería y Morteros)

⁷ TEC1000-2017- "La oportunidad de sobrevivir en la última capa de la defensa antiaérea."

trabajan de manera complementaria, compartiendo datos y modos de operación. Este enfoque integrado es esencial para garantizar una defensa eficaz frente a la amplia variedad de amenazas aéreas modernas.

En este contexto, el Iron Dome es solo una pieza dentro de un sistema de defensa aérea mucho más amplio y sofisticado. Este sistema de múltiples capas incluye también la "Honda de David" (*David's Sling*), diseñada para interceptar amenazas de alcance medio como misiles balísticos tácticos, cohetes de mayor alcance y aviones enemigos. Además, el sistema "Flecha" (*Arrow*), con sus variantes *Arrow-2* y *Arrow-3*, se encarga de interceptar proyectiles de largo alcance, incluyendo misiles balísticos intercontinentales y amenazas exoatmosféricas.

Este enfoque de multicapas, permite a Israel cubrir un espectro completo de amenazas aéreas, desde cohetes y morteros de corto alcance hasta misiles avanzados de largo alcance. La integración de estos sistemas se logra mediante un sofisticado sistema de Comando y Control, que centraliza los datos de sensores, radares y satélites, permitiendo una respuesta coordinada y precisa.

Es importante destacar que esta arquitectura no solo optimiza la eficiencia de cada sistema individual, sino que también minimiza costos operativos al asignar recursos de manera estratégica según la naturaleza y la gravedad de la amenaza. Por ejemplo, el Iron Dome se reserva para cohetes de corto alcance que amenacen áreas pobladas, mientras que los sistemas de mayor alcance, como el *Arrow*, se emplean para amenazas estratégicas de alta altitud.

La combinación de estos sistemas no solo garantiza una defensa más robusta, sino que también posiciona a Israel como líder mundial en tecnología de **defensa aérea integrada**. Este modelo es un ejemplo claro de cómo la cooperación entre sistemas y el uso de inteligencia artificial y análisis de datos pueden maximizar la eficacia de las operaciones defensivas en un entorno de amenazas crecientes y complejas.

Un aspecto destacado del **Iron Dome** es su portabilidad y flexibilidad operativa. Este sistema de defensa puede desplazarse rápidamente de un lugar a otro, transportados por vehículos militares, lo que le permite adaptarse a condiciones geográficas diversas y responder a amenazas en tiempo real. Actualmente, el Iron Dome está desplegado en múltiples ubicaciones estratégicas dentro de Israel, incluyendo áreas urbanas densamente pobladas como Tel Aviv, Jerusalén y Haifa, así como en regiones cercanas a la Franja de Gaza y el norte del país, donde las amenazas de cohetes y misiles son más frecuentes.

Esto permite que las unidades se reubiquen y configuren en cuestión de horas, garantizando una defensa efectiva en las zonas que más lo necesitan. Durante períodos de alta tensión, como en los conflictos recientes con Hamás, el Iron Dome ha sido desplegado rápidamente en ciudades del sur de Israel, como Sderot y Ashkelon,⁸ que suelen ser los principales objetivos de ataques con cohetes desde Gaza.

FIGURA 2: LANZADORES DE IRON DOME MONTADO EN VEHÍCULOS



Fuente: Rafael Advanced Defense Systems

⁸ En la actualidad no quiere decir que se encuentra emplazados en estas ciudades ya que son móviles.

Esta capacidad de movilidad y rápida reconfiguración no solo garantiza la protección de áreas críticas como infraestructuras estratégicas, bases militares y poblaciones civiles, sino que también otorga a Israel una ventaja, al poder posicionarse donde se detecten mayores riesgos, el **Iron Dome** refuerza la seguridad nacional mientras minimiza las vulnerabilidades ante ataques inesperados.

En situaciones recientes, las baterías del Iron Dome también han sido desplegadas en puntos sensibles del norte del país, cerca de la frontera con el Líbano, para contrarrestar posibles ataques del grupo Hezbolá, que posee un arsenal significativo de cohetes y misiles. Esto demuestra que, más allá de su eficacia técnica, el sistema es un pilar clave para la defensa activa de Israel frente a amenazas múltiples y cambiantes.

Como ocurre con muchos sistemas de armas exitosos, los resultados positivos suelen inspirar la creación de variantes adaptadas a diferentes necesidades operativas. Este es el caso del Iron Dome, cuya tecnología ha sido replicada y adaptada bajo distintas configuraciones. Un ejemplo reciente es el desarrollo del **C-Dome**, una variante diseñada específicamente para su instalación en buques de guerra y plataformas de transporte marítimo.

A pocos días de que un UCAV iraní atacara un buque petrolero en el Golfo de Omán, la Armada de Israel, en colaboración con Rafael Advanced Defense Systems, anunció la realización de ensayos exitosos del **C-Dome**. Este sistema mantiene las mismas capacidades avanzadas que las versiones terrestres del Iron Dome, como la interceptación precisa de amenazas aéreas, incluyendo cohetes, misiles y drones, pero ha sido optimizado para ofrecer una mayor flexibilidad operativa en entornos marítimos.

El **C-Dome** se ha integrado como parte del sistema de defensa aérea de Israel, ampliando significativamente las capacidades defensivas de sus buques. Su diseño compacto y modular permite su instalación tanto en buques de combate como en embarcaciones de transporte, asegurando protección contra amenazas en alta mar y en operaciones costeras. Esta capacidad de defensa móvil es especialmente relevante en un entorno geopolítico como el de Oriente Medio, donde las amenazas marítimas son una constante.

El **I-Dome** es una versión **móvil y autónoma** del sistema

Iron Dome, diseñada para proporcionar una defensa aérea efectiva en movimiento. A diferencia del sistema terrestre estándar, que está pensado para proteger ubicaciones fijas como ciudades o bases militares, el **I-Dome** está montado sobre vehículos, lo que le permite moverse con rapidez y adaptarse a operaciones dinámicas en el terreno. Este diseño es especialmente útil para proteger columnas militares, fuerzas en despliegue y puntos estratégicos en áreas de combate que requieren alta movilidad. El sistema es completamente autónomo, lo que significa que incluye un radar, un centro de control y lanzadores de interceptores en el mismo vehículo. Esto elimina la necesidad de depender de infraestructuras externas, haciéndolo ideal para despliegues rápidos en zonas remotas o en movimiento. El **I-Dome** es un componente crítico en la estrategia de defensa aérea móvil de Israel, comple-

FIGURA 3: C-DOME VERSIÓN NAVAL



Fuente: Rafael Advanced Defense Systems

mentando al **Iron Dome** y al **C-Dome** para cubrir una amplia variedad de escenarios, desde áreas fijas hasta operaciones móviles y marítimas. Es un claro ejemplo de cómo la tecnología se adapta a las necesidades operativas para ofrecer soluciones de defensa versátiles y efectivas.

Desde otra óptica totalmente diferente, el artículo “**La ironía del Domo de Hierro: Sistemas de Defensa Inteligentes, Derecho y Seguridad**”⁹ (Harvard National Security Journal), analiza cómo el Derecho Internacional Humanitario (DIH) debería abordar los Sistemas de Defensa Inteligentes (SDI), como el Iron Dome. Los autores proponen que estos sistemas sean considerados parte de la defensa civil, ya que protegen a la población y reducen las bajas civiles. Si bien los SDI presentan desafíos legales y estratégicos, el artículo sostiene que no incentivar su desarrollo contradice los objetivos del DIH. Promover su uso, dentro de un marco legal adecuado, fortalecería la protección de los civiles en conflictos armados.

FIGURA 4: I-DOME ALL IN ONE



Fuente: Rafael Advanced Defense Systems

La defensa multicapas israelí

En el marco de los recientes conflictos en Medio Oriente, el sistema de defensa aérea y antimisiles de Israel, particularmente el Iron Dome, la Honda de David, y los Sistemas Arrow 2 y Arrow 3, demostró un nivel sin precedentes de efectividad operativa. A continuación, se detallan los episodios más significativos según declaraciones del Sr. Moshe Patel, director de la Organización Israelí de Defensa contra Misiles (IMDO), funcionario clave en la defensa israelí, durante una entrevista con el Dr. Thomas Karako. Mediante el detalle de los hechos entre Oct23 y Abr24, se puede apreciar la importancia de la Defensa Aérea organizada por capas, que se mencionan a continuación:

El ataque del **7 de octubre de 2023**, ese día, Israel enfrentó un ataque masivo coordinado, considerado por muchos como su “11 de septiembre”. El sistema Iron Dome, junto con la Honda de David, se activó de inmediato y respondió eficazmente a múltiples amenazas aéreas simultáneas. Fue la primera vez que se logró un despliegue tan amplio y exitoso de toda la arquitectura defensiva, salvando miles de vidas en zonas urbanas. Aunque otros sectores del sistema nacional no respondieron con igual eficacia, la defensa aérea funcionó según lo planificado y probado en ejercicios previos.

El **31 de octubre de 2023**, en esta fecha, el sistema **Arrow 2** alcanzó por primera vez una intercepción operativa real de un misil balístico lanzado desde Irán. Hasta entonces, el sistema solo había sido probado en múltiples simulaciones y vuelos de prueba, tanto en Israel como en bases estadounidenses como Point Mugu, pero nunca en combate real.

El **9 de noviembre de 2023**, por primera vez en la historia, el sistema **Arrow 3** interceptó exitosamente un misil balístico hutí en el espacio exterior (zona **exoatmosférica**). Este hecho marcó un hito tecnológico, confirmando la capacidad del sistema israelí para defenderse contra misiles balís-

⁹ https://www.academia.edu/17670708/The_Irony_of_the_Iron_Dome_Intelligent_Defense_Systems_Law_and_Security?utm_source=chatgpt.com

uticos en altitudes elevadas. La intercepción confirmó la efectividad de décadas de inversión conjunta entre Estados Unidos e Israel en defensa estratégica.

El 13-14 de abril de 2024, durante la noche del 13 de abril (hora estadounidense) al 14 de abril (hora israelí), Irán lanzó un ataque masivo y sin precedentes contra Israel. El asalto incluyó:

- > 120 misiles balísticos, con ojivas de hasta una tonelada.
- > 220 misiles de crucero.
- > Cientos de drones de diferentes tipos.

En total, más de 550 amenazas aéreas fueron dirigidas hacia Israel, con un claro objetivo de saturar sus defensas y causar daños masivos a la población civil.

Gracias a la arquitectura multicapa de defensa (que incluye a Iron Dome, Honda de David, Arrow 2 y Arrow 3) y la cooperación con aliados como Estados Unidos y otras naciones de la coalición, el sistema logró una coordinación táctica ejemplar y una tasa de éxito altísima. Fue la primera vez que toda la arquitectura defensiva israelí enfrentó un escenario real a gran escala, y los resultados confirmaron la validez de años de simulaciones y cooperación estratégica.

Los eventos entre octubre de 2023 y abril de 2024 consolidaron el prestigio del sistema de defensa aérea de Israel como uno de los más avanzados del mundo. El Iron Dome, en particular, reafirmó su rol clave en la protección de áreas urbanas y en la prevención de bajas civiles. Su integración con sistemas más complejos como el Arrow 3, y la coordinación internacional durante eventos críticos, evidencian el impacto de la **defensa multicapa basada en inteligencia artificial, sensores interconectados y mando conjunto**.

FIGURA 5: INTERCEPTACIÓN NOCTURNA IRON DOME



Fuente: Rafael Advanced Defense Systems

Arquitectura de sistema Iron Dome

Entrando de lleno en el funcionamiento de este sistema podemos decir que el Iron Dome, cuenta con 3 subsistemas bien diferenciados:

- > Radar de Búsqueda y Seguimiento,
- > Unidad de disparo de misiles interceptores.
- > Unidad de Comando y Control.

Radar de Búsqueda y Seguimiento

Este sistema es el encargado de **detectar y rastrear** proyectiles hostiles desde el momento de su lanzamiento, hasta el impacto potencial. Posee un **Radar 3D ELTA**, del tipo **ELM-2084**, los MMR (Multi Mission Radar), son una familia de radares, que poseen la capacidad de operación 24/7/365. Utiliza un radar activo de **estado sólido**, de matriz de barrido electrónico **AESA** (*Active Electronically Scanning Array*), cada uno de los pequeños módulos emite su propio haz de ener-

gía en diferentes frecuencias, con lo que se reduce la emisión electromagnética y se disminuye la posibilidad de ser detectado, puede producir numerosos "sub-haces" y activar, detectar, trackear, un número mayor de amenazas enemigas. Así los transmisores de estado sólido son capaces de emitir con eficacia, en una gama mucho más amplia de frecuencias, dando la capacidad de cambiar su frecuencia de funcionamiento con cada pulso enviado, por esto son considerados "Activos". Trabaja en bandas específicas del espectro electromagnético, como la **Banda S** o **Banda C**¹⁰. Debido a la frecuencia con que trabaja, la tecnología avanzada de estado sólido y la sensibilidad del receptor, es que le permite adquirir diferentes tipos de amenazas, inclusive como son los de tipo **C-RAM** y **drones**, todos estos con una muy **pequeña RCS (Radar Cross Section)**, además puede detectar blancos de alto poder de maniobras, blancos a baja altura, blancos de baja velocidad y con una gran tasa de actualización de los objetivos.

La tecnología de vanguardia permite una integración perfecta con sensores adicionales como SIGINT¹¹, IFF¹² y EO/IR,¹³ y puede realizar múltiples misiones simultáneamente, ya sea en modo rotatorio 360° o en modo sectorial para una vigilancia enfocada.

El Radar según sus configuraciones y las características geográficas, asegura una cobertura precisa incluso en condiciones climáticas adversas.

FIGURA 6: MULTI MISSION RADAR ELM-2084 MMR



Fuente: Israel Aerospace Industries

Unidad de Disparo de Misiles Interceptores¹⁴

Este subsistema se encarga de lanzar los **misiles interceptores Tamir**, diseñados específicamente para neutralizar amenazas aéreas. Los misiles Tamir, tienen 3m de largo, pesan 90 kg y tiene un diámetro de 160mm. Puede alcanzar una velocidad máxima de 700 m/s (2,2 Mach). Usan una combinación de guiado inercial y corrección en tiempo real mediante enlaces de datos, con sensores electro-ópticos. En las etapas finales, cuentan con un sistema de guía por radar activo para garantizar la precisión. Están diseñados para alcanzar altas velocidades y maniobrar mediante aletas canard, en

¹⁰ Bandas de radar: Banda S: 2.0 a 4.0 GHz; Banda C: 4.0 a 8.0 GHz

¹¹ SIGINT (Signals Intelligence): Inteligencia de señales. Se refiere a la obtención de información a través de la interceptación de señales electrónicas, incluyendo Inteligencia de Comunicaciones (COMINT), Inteligencia Electrónica señales de Radar (ELINT).

¹² IFF (Identification Friend or Foe): Identificación Amigo o Enemigo. Es un sistema utilizado para identificar si una aeronave o vehículo aéreo es amigo o enemigo. Funciona mediante la emisión de señales de interrogación y la respuesta de un transpondedor en la unidad identificada.

¹³ EO/IR (Electro-Optical / Infrared): Electro-óptico / Infrarrojo. Hace referencia a sistemas de sensores que utilizan cámaras electro-ópticas y sensores infrarrojos, para detectar, rastrear y monitorear objetivos.

¹⁴ Se la menciona como: Missile Firing Unit (MFU)

función de los datos de trayectoria del sistema de control. El misil cuenta con una espoleta de proximidad que activa una carga de fragmentación dirigida de alto poder, con un peso aproximado de 11 kg, optimizada para maximizar la probabilidad de intercepción efectiva mediante la neutralización o destrucción del proyectil hostil.

FIGURA 7: MISIL TAMIR



Fuente: Rafael Advanced Defense Systems

Cada Batería de Iron Dome, cuenta con tres o cuatro lanzadores cada uno de ellos tiene la capacidad de 20 misiles. Los lanzadores pueden ser reubicados rápidamente según las necesidades del terreno. El proceso de lanzamiento de los misiles **está automatizado**, pero puede ser supervisado por un operador si fuese necesario. Una Batería con cuatro lanzadores puede proteger una ciudad de tamaño mediano aproximadamente de 150 km².

Unidad de Comando y Control¹⁵

Este subsistema cumple la función de **centro neurálgico** del Iron Dome, ya que procesa la información proveniente de los radares y coordina, en tiempo real, la respuesta del sistema ante amenazas aéreas. Su operación puede dividirse en los siguientes componentes funcionales:

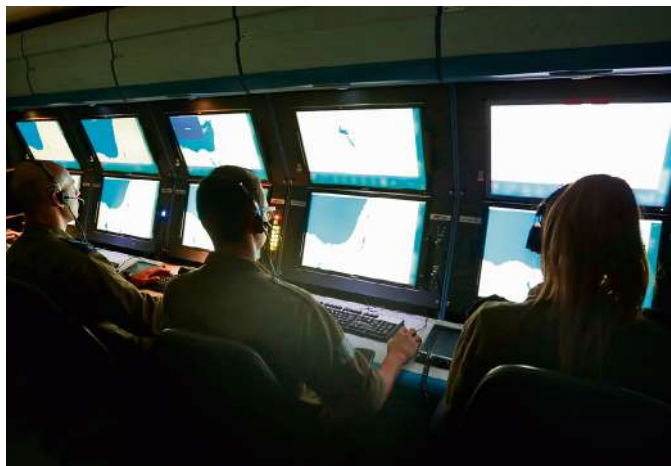
Computación de trayectorias: Mediante algoritmos avanzados de cálculo balístico, determina con precisión la trayectoria de los proyectiles entrantes, estimando sus puntos de impacto.

Priorización de amenazas: Utiliza Inteligencia Artificial para clasificar los objetivos en función de su peligrosidad, evaluando si representan una amenaza real para zonas densamente pobladas, infraestructuras críticas o activos estratégicos.

Control de interceptores: Supervisa y gestiona el lanzamiento de misiles interceptores, asegurando que cada uno alcance su blanco con la máxima eficiencia y precisión.

Red de comunicaciones: Se integra en una arquitectura de defensa en red, permitiendo la in-

FIGURA 8: UNIDAD DE COMANDO Y CONTROL



Fuente: Gadi Kabalo

¹⁵ Se menciona como: Battle Management and Control (BMC)

terconexión y el intercambio de datos con otras baterías del Iron Dome y sistemas de defensa aérea, optimizando así la cobertura y coordinación en escenarios complejos.

La red de comunicaciones emplea el protocolo **Data Link 16**, es la designación de un TDL (Tactical Data Link), un canal primario de comunicaciones, utilizado para el intercambio de datos tácticos militares en tiempo real, entre sistemas tácticos instalados en vehículos terrestres, marinos y aéreos.

Lógica operativa del sistema Iron Dome

Si bien la utilización de la IA en el Sistema de Armas Iron Dome es reservado y no existe documentación alguna al respecto, trataremos de interpretar su accionar, mediante el conocimiento que se tiene del uso de la IA. La inteligencia artificial desempeña un papel fundamental en el Sistemas de Defensa Aérea **Iron Dome** y sus variantes. Su operación la podríamos dividir en las siguientes etapas:

- > **Detección e identificación de amenaza.**
- > **Predicción de la trayectoria.**
- > **Evaluación de amenazas.**
- > **Toma de decisión, asignación de recursos e interceptación.**

A continuación, se analiza cómo la IA interviene en cada etapa de este proceso, utilizando diversas herramientas, técnicas algorítmicas y de Inteligencia Artificial.

Detección e Identificación de Amenazas

La operación de este sistema es continua, funcionando las 24 horas del día, los 7 días de la semana y los 365 días del año (24/7/365). Cuando se detecta el lanzamiento de una posible amenaza, desde una zona entre 4 a 70 km, el Radar de Búsqueda que permanece activado permanentemente, es el primero en actuar. Este radar una vez detectada y adquirida la amenaza, recopila la información clave como la velocidad, distancia, altitud y dirección del objeto detectado, parámetros típicos obtenidos por la mayoría de los radares modernos. Cabe mencionar que según el tipo de amenaza será la distancia de detección, la cual estará en relación de la RCS (Radar Cross Section).

Una vez obtenidos estos datos, el sistema inicia un proceso avanzado de **identificación del blanco**. En esta fase, la IA juega un papel crucial al emplear algoritmos de **Procesamiento de Señales (Signal Processing)**. El procesamiento de señales es una técnica utilizada para analizar, modificar y sintetizar señales como sonido, imágenes y datos. En este contexto de los sistemas de armas, se utiliza para mejorar la precisión de los sensores, el radar y otros sistemas de detección, ayudar a filtrar el ruido en las señales de radar, obtener patrones característicos para mejorar la identificación de los objetivos, distinguiendo así las amenazas reales de los no peligrosas.

También en la identificación se utilizan las **Redes Neuronales Convolucionales (Convolutional Neural Networks, CNN)**, estas empleadas para realizar el análisis de imágenes, la operaciones de convolución para filtrar y detectar características importantes en las imágenes, como bordes, texturas y formas. Todos los datos que se posean deben ser utilizados y mediante la **Correlación (Correlation)**, que describe la relación y dependencia entre dos variables o señales, utilizada para detectar patrones y relaciones entre diferentes datos, como la posición y velocidad de un objetivo.

Además, con **Machine Learning (ML)**, la IA mejora continuamente su capacidad de discriminación mediante el aprendizaje automático, utilizando grandes volúmenes de datos históricos, simulaciones, como también los datos de las nuevas amenazas desconocidas hasta el momento,

engrosando así el volumen de características y patrones de objetos a ser consultados. Esto no solo incrementa la precisión en la identificación de amenazas, sino que también reduce la posibilidad de falsos positivos y minimiza el tiempo de respuesta del sistema.

Predicción de la Trayectoria

Cuando el sistema Iron Dome es emplazado, se carga con las coordenadas de su posición exacta, junto con una cartografía detallada de su zona de acción. Además, se integra con otras zonas y Sistemas de Defensa Aérea que estén conectados, permitiendo una coordinación eficiente. Esta configuración inicial es de suma importancia, ya que una de las principales capacidades del sistema es **predecir** con gran **precisión el punto futuro de impacto** de la o las amenazas. Es así que el sistema tiene el detalle de las zonas pobladas y aquellas que no se encuentran habitadas o con escasos habitantes, como también áreas militares y de importancia estratégica.

La Unidad de Comando y Control, con todos los datos proporcionado por Radar, más la información que posee y utilizando algoritmos avanzados de Inteligencia Artificial y Machine Learning, el Iron Dome analiza en tiempo real la trayectoria del proyectil, considerando variables como velocidad, dirección, condiciones atmosféricas, etc. Con estos datos, el sistema determina si la amenaza caerá en una zona poblada o deshabitada.

Para la predicción del futuro punto de impacto intervienen varios factores, **Modelos de Dinámica No Lineal**, simulan el comportamiento de los proyectiles bajo condiciones cambiantes como la resistencia del aire y las variaciones de velocidad, integrando con **Filtros de Kalman**, los cuales se alimentan de todas las variables posibles obtenidas o calculadas, aplicados para predecir la trayectoria a corto plazo y corregir imprecisiones en los datos obtenidos. Las **Redes Bayesianas** se aplican para calcular la probabilidad de que un proyectil impacte en una zona crítica, utilizando información histórica y datos en tiempo real.

Los “radares de contrabatería” tienen como finalidad determinar el punto de origen de los proyectiles o cohetes de artillería. Para lograrlo, registran múltiples puntos a lo largo de la trayectoria del proyectil y, mediante un análisis de su movimiento, calculan con precisión el lugar desde donde fue disparado. En el caso del Iron Dome es más complejo, gran cantidad y variedad de amenazas hacen que la predicción no sea para nada sencilla. Con los datos iniciales procesados, la IA aplica modelos matemáticos para estimar la trayectoria del proyectil. **Redes Neuronales Recurrentes (RNN)** y **LSTM (Long Short-Term Memory)**, utilizadas para analizar patrones temporales en la trayectoria y mejorar la predicción precisa en tiempo real, es esencial para evaluar el nivel de amenaza y planificar una posible intercepción.

Esta capacidad predictiva no solo maximiza la eficacia operativa del sistema, sino que permite optimizar el empleo de recursos, reduciendo significativamente tanto los costos logísticos como los daños colaterales. La posibilidad de evaluar en tiempo real múltiples trayectorias hostiles, identificar las amenazas con mayor probabilidad de impacto crítico y priorizar su neutralización, fortalece la capacidad de defensa activa y la protección de infraestructuras clave, zonas pobladas y activos de valor estratégico.

Evaluación de Amenazas

Una vez identificada la amenaza y clasificada como misil, cohete, proyectil de artillería, mortero, UAV, dron o “amenaza desconocida”, se procede a determinar con mayor precisión su tipo específico. Este proceso permite identificar el modelo exacto y determinar sus características técnicas, como velocidad, carga explosiva, alcance y radio de acción, entre otros. Con estos parámetros se evalúan su **peligrosidad y capacidad de letalidad**.

Además de estas características, como ya se dijo, el sistema realiza una predicción precisa del punto futuro de impacto. En el caso de UAVs o drones, también se analiza su comportamiento para prever posibles maniobras evasivas o cambios de trayectoria.

Con esta gran cantidad de información, la Unidad de Comando y Control lleva a cabo un análisis integral para evaluar las amenazas existentes.

La primera instancia de evaluación consiste en determinar si el proyectil caerá en una zona despoblada o en un área donde los daños colaterales serán mínimos. Si la predicción indica que el impacto ocurrirá en un área despoblada o con riesgo mínimo, el sistema puede optar por no interceptar el proyectil, preservando recursos y reservando los interceptores para amenazas más críticas.

Por el contrario, si se identifica que la amenaza caerá en una zona poblada o en una con infraestructura crítica, se procede a establecer un orden de prioridades basado en su peligrosidad y el daño potencial. Una vez descartadas las amenazas que impactarán en zonas despobladas, se evalúan las restantes, teniendo en cuenta sus características específicas y el tiempo estimado hasta el impacto. Esta priorización es esencial para optimizar la asignación de recursos defensivos y tomar decisiones eficaces en escenarios con múltiples amenazas.

Dado que los tiempos de respuesta son extremadamente reducidos, el análisis y la toma de decisiones deben realizarse en tiempo real. La **intervención humana** en este proceso es prácticamente nula, ya que cualquier demora podría comprometer la eficacia del sistema. Por ello, la Inteligencia Artificial y los algoritmos de Machine Learning se encargan de ejecutar las evaluaciones y activar las respuestas de forma autónoma y precisa. Este enfoque automatizado no solo garantiza una reacción rápida y efectiva, sino que también maximiza la capacidad defensiva del sistema ante ataques simultáneos, protegiendo tanto a la población como a las instalaciones e infraestructuras críticas.

Los sistemas de **clasificación basados en Inteligencia Artificial** permiten identificar y categorizar objetos en diferentes clases mediante modelos de aprendizaje supervisado, optimizando así el proceso de evaluación de amenazas.

Toma de Decisiones, Asignación de Recursos e Interceptación

Uno de los desafíos más complejos y menos visibles en el desarrollo de la Cúpula de Hierro fue definir un concepto que, en apariencia, parecía simple, la pregunta era, ¿qué es una interceptación? Según relata el General de Brigada (R) Doron Gavish¹⁶, uno de los creadores del sistema, esta fue una de las primeras preguntas que su equipo se planteó. La experiencia de la Guerra del Golfo en 1991, cuando Israel sufrió numerosos impactos pese al uso de misiles Patriot en colaboración con Estados Unidos, dejó una lección clara: no basta con desviar un proyectil, hay que asegurarse de que no cause daño alguno.

En ese sentido el General Gavish, enfatiza que para algunos, una interceptación era considerada exitosa si el misil no caía en su objetivo previsto, incluso si impactaba en otra zona. Pero para su equipo, esta visión era inaceptable. La verdadera meta era **destruir la ojiva** del misil enemigo en **pleno vuelo**, de modo que no quedara margen de daño colateral. Lo contrario, permitir que el proyectil interceptado caiga en otra ciudad o área poblada, representaba un fracaso.

Esto implicó enfrentar numerosos retos tecnológicos. Se debieron definir parámetros precisos: ¿dónde interceptar? ¿En qué punto del cielo es seguro destruir el proyectil? ¿Cómo garantizar que los restos no representen una amenaza para la población civil? Para resolver estos dilemas, el equipo debió esforzarse en validar cada resultado de forma empírica. Se instalaron cámaras y sistemas

¹⁶ General de Brigada (R) Doron Gavish: Fue el responsable del desarrollo del Iron Dome. Prestó servicios 30 años en la Fuerza Aérea. Durante la primera Guerra del Golfo (1990-1991) estuvo al mando de las Baterías Patriot.

de verificación para confirmar que la destrucción del misil se producía en el lugar y momento adecuados. En los inicios, incluso era necesario acudir al sitio de caída para verificar manualmente si el fragmento encontrado correspondía a la ojiva. Solo entonces se podía declarar una interceptación como un verdadero éxito.

Asimismo, otro desafío clave fue calcular la trayectoria del **misil interceptor** para guiarlo hacia un punto que garantizara la destrucción de la amenaza sin comprometer a la población. Esto requería un equilibrio delicado entre precisión, velocidad de respuesta y análisis de datos en tiempo real, una combinación que hoy es posible gracias a la sofisticada tecnología alcanzada e integrando la IA al sistema.

Una vez confirmada la presencia de una amenaza real, y habiéndose completado la fase de evaluación de su peligrosidad y punto estimado de impacto, el sistema Iron Dome entra en una etapa crítica: la toma de decisiones y la asignación de recursos defensivos. Esta fase es completamente automatizada y gestionada por inteligencia artificial, lo cual garantiza una respuesta inmediata y precisa, fundamental en escenarios donde el margen de error y los tiempos de reacción son extremadamente reducidos.

Si la amenaza en cuestión se dirige hacia una zona urbana densamente poblada o hacia infraestructuras consideradas estratégicas, el sistema activa automáticamente la fase de interceptación. Para ello, lanza un misil interceptor Tamir, diseñado específicamente para neutralizar el proyectil enemigo en el aire, antes de que este alcance su objetivo. La explosión del misil Tamir, suele producirse a una altitud segura, minimizando así los posibles daños colaterales sobre el terreno. En cambio, si el sistema predice que el impacto ocurrirá en un área despoblada o de bajo riesgo, se evita el uso de interceptores, priorizando la conservación de recursos para amenazas más críticas.

En situaciones donde se detectan múltiples amenazas de forma simultánea, la IA del sistema despliega algoritmos avanzados de priorización. A través del análisis de variables como el nivel de riesgo, el tipo de proyectil, el tiempo hasta el impacto y la localización geográfica del posible punto de caída, el sistema determina un orden de actuación y asigna los recursos defensivos de manera óptima. La IA selecciona el lanzador más adecuado y el interceptor mejor posicionado para cada amenaza, calcula el momento preciso del disparo y ajusta, en tiempo real, la trayectoria del misil interceptor conforme a la evolución de la amenaza en vuelo.

Este proceso se ve reforzado por tecnologías como redes de decisión basadas en IA, que evalúan múltiples cursos de acción y seleccionan la respuesta más efectiva, y **algoritmos de optimización heurística**, tales como los **algoritmos genéticos** o los **enjambres de partículas**, diseñados para encontrar soluciones eficientes en escenarios altamente dinámicos. Además, el sistema opera bajo un esquema de coordinación multi-agente, lo que permite a distintas unidades de defensa y plataformas compartir información en tiempo real, maximizando así la cobertura y efectividad del sistema frente a ataques múltiples y coordinados.

Durante toda esta etapa, la IA no solo toma decisiones, sino que también alimenta continuamente al sistema de control de armas con datos en tiempo real. Este flujo de información permite calcular con precisión trayectorias, predecir puntos de impacto y ajustar los parámetros de interceptación de manera dinámica. Gracias a estas capacidades, el sistema puede rastrear múltiples proyectiles al mismo tiempo, diferenciando aquellos que representan una amenaza directa de los que no requieren intervención. En la actualidad posee la significativa capacidad de atender simultáneamente un alto número de blancos.

En cuanto a su **efectividad**, uno de los indicadores clave para considerar que una operación ha sido exitosa es la tasa de interceptación. En el conflicto más reciente, esa tasa alcanzó el 90%, una cifra significativamente superior a la de campañas anteriores, donde los niveles de efectividad eran

considerablemente más bajos. Este crecimiento es reflejo de una evolución sostenida, impulsada por la experiencia acumulada en combate y la mejora continua de los sistemas defensivos.

Si bien el Iron Dome ha demostrado una altísima efectividad frente a amenazas asimétricas como cohetes de corto alcance, su capacidad debe evaluarse a la luz de un entorno tecnológico en constante evolución. La carrera armamentista moderna no es unilateral: los avances tecnológicos benefician tanto a aliados como a adversarios. En este marco, el desarrollo misiles hipersónicos, drones de nueva generación y enjambres autónomos representa una amenaza potencial a los actuales sistemas antimisiles, al introducir nuevas variables cinéticas, numéricas y de saturación que podrían comprometer la tasa de éxito de interceptación. Así, la efectividad del Iron Dome no debe entenderse como un estado fijo, sino como una condición dinámica sujeta a los desafíos de la próxima generación de amenazas.

En definitiva, la toma de decisiones y asignación de recursos dentro del Iron Dome representa uno de los componentes más sofisticados del sistema, donde la inteligencia artificial actúa como núcleo operativo, asegurando una defensa eficiente, adaptativa y extremadamente veloz frente a las amenazas aéreas modernas.

Una de las ventajas estratégicas que posee Israel es que, al enfrentarse constantemente a amenazas reales y latentes, su industria militar tiene la posibilidad de probar en escenarios concretos los sistemas de defensa y armamento que desarrolla. Esta situación, aunque desafiante, permite ajustar, corregir y perfeccionar en tiempo real la eficacia de sus tecnologías. Ya nos encontramos con sistemas de Energía Dirigida, como el Iron Beam (Laser de alta potencia), el Drone Dome (anti drones), que se irán sumando al sistema de Defensa Aérea.

Funciones y aportes de la IA al SDA Iron Dome

El Sistema de Defensa Aérea Iron Dome se ve beneficiado con la intervención de la Inteligencia Artificial, en los siguientes aspectos:

Mejora en la precisión y velocidad de respuesta: La IA permite al **Iron Dome** identificar, rastrear y predecir trayectorias de múltiples amenazas en tiempo real. Gracias a algoritmos avanzados, el sistema puede diferenciar entre proyectiles que representan un peligro real y aquellos que caerán en áreas no habitadas, optimizando el uso de interceptores y reduciendo costos operativos.

Reducción de la carga humana y automatización: Los sistemas de defensa aérea como el Iron Dome dependen de tiempos de reacción extremadamente rápidos. La IA reduce la intervención humana en la toma de decisiones críticas, permitiendo respuestas automáticas y minimizando el margen de error en situaciones de alto estrés.

Adaptabilidad ante nuevas amenazas: A medida que los adversarios desarrollan tácticas más avanzadas (como enjambres de drones o misiles de mayor velocidad), la IA mejora la capacidad del Iron Dome o de su Sistema de Defensa Aérea, para adaptarse y ajustar sus estrategias defensivas de manera autónoma. Esto permite una evolución constante frente a amenazas emergentes.

Integración con otros sistemas de defensa: La IA facilita la comunicación entre el Iron Dome y otros sistemas de defensa, como radares, satélites y plataformas de vigilancia. Esto permite una defensa más coordinada y una detección temprana de amenazas, integrándose en una **red de defensa aérea inteligente**.

Desafíos éticos y operacionales: Si bien la IA mejora la eficiencia del Iron Dome, su autonomía plantea **desafíos éticos y legales**, especialmente en el uso de sistemas de armas letales autónomas (LAWS). La dependencia de la IA en la toma de decisiones genera debates sobre el control humano y la posibilidad de errores en la identificación de amenazas

Conclusiones

El sistema analizado constituye una solución tecnológica de última generación, concebida para operar en la capa más baja del escudo de defensa aérea. Su capacidad operativa dual, al actuar tanto como sistema VSHORAD frente a amenazas aéreas convencionales como medio de defensa activa contra amenazas asimétricas tipo C-RAM y drones, le otorga una cobertura táctica integral y una flexibilidad sin precedentes, adecuada para escenarios bélicos contemporáneos caracterizados por su alta dinámica y heterogeneidad.

La eficacia del sistema se ha visto notablemente potenciada gracias a la integración de la IA y capacidades de análisis predictivo, que le permiten discriminar amenazas relevantes en tiempo real y optimizar la asignación de recursos interceptores. Esta autonomía controlada mejora la sostenibilidad operativa, reduce costos innecesarios y refuerza la eficiencia frente a situaciones de saturación de amenazas.

En entornos de amenaza real, las estimaciones indican una tasa de efectividad cercana al 90%, lo que refleja un alto grado de confiabilidad incluso ante ataques masivos y continuos. Aun considerando el bajo costo unitario de los proyectiles enemigos, el sistema prioriza la preservación de vidas humanas y la protección de infraestructura crítica por sobre cualquier lógica estricta de costo-beneficio.

La integración de la IA en sistemas de armas como el *Iron Dome* representa un cambio de paradigma en la defensa moderna, al permitir niveles de reacción, análisis y discriminación de amenazas imposibles de alcanzar mediante medios puramente humanos o analógicos. Su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real, detectar patrones, predecir trayectorias y priorizar objetivos otorga una ventaja decisiva en escenarios donde los tiempos de respuesta se miden en milisegundos. En contextos hiperconectados, volátiles y saturados de información, la IA no es solo una herramienta de apoyo, sino un multiplicador de poder militar, indispensable para preservar vidas, asegurar superioridad táctica y mantener la iniciativa estratégica.

A pesar del avanzado grado de automatización, la conducción humana y la doctrina operativa continúan siendo componentes fundamentales. La operación de estos sistemas requiere supervisión, interpretación y capacidad de intervención por parte del personal militar, cuya formación y entrenamiento deben asegurar el dominio técnico y doctrinal necesarios para asumir el control efectivo ante fallos o situaciones no previstas por el software.

Finalmente, es esencial reafirmar que la IA, por más sofisticada que sea y cualquiera sea la evolución que tome, debe ocupar un lugar subordinado a la decisión de la conducción de las operaciones, mantenerse bajo control humano, guiada por el juicio profesional, la ética militar y la legitimidad de las decisiones.

Referencias

- > CEPTM “GrI. Mosconi”. TEC1000-2016. Facultad de Ingeniería del Ejército, 2016. Disponible en: <https://www.fie.undef.edu.ar/ceptm/tec1000/2017.pdf>
- > CEPTM “GrI. Mosconi”. TEC1000-2017. Facultad de Ingeniería del Ejército, 2017. Disponible en: <https://www.fie.undef.edu.ar/ceptm/tec1000/2017.pdf>
- > CEPTM “GrI. Mosconi”. *Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar*. Facultad de Ingeniería del Ejército. Disponible en: <https://www.fie.undef.edu.ar/ceptm/>
- > Video entrevista de Innvation Experience a Doron Gavish.(2023). <https://innovationexperience.mykajabi.com/webinar-room-irondome>
- > Johnson, J. (2019): Artificial intelligence & future warfare: implications for international security, Defense & Security Analysis, DOI: 10.1080/14751798.2019.1600800.
- > Scharre, Paul (2018). *Army of None: Autonomous Weapons and the Future of War*. W. W. Norton & Company.
- > Documentos de Seguridad y Defensa 79. (2017). La inteligencia artificial aplicada a la defensa. Instituto Español de Estudios Estratégicos.
- > Event “Missile Defense in Israel: A Conversation with Moshe Patel”. Center for Strategic and International Studies (CSIS)-(2023). <https://www.csis.org/analysis/missile-defense-israel-conversation-moshe-patel>
- > Event “Los combates de defensa antimisiles de Israel desde el 7 de octubre” Center for Strategic and International Studies (CSIS). (2024). <https://www.csis.org/analysis/israels-missile-defense-engagements-october-7th>
- > Israel Missile Defense Organization (IMDO). *Iron Dome: Defense Against Short-Range Rockets*. Ministerio de Defensa de Israel.
- > Cordesman, Anthony H. (2014). *Missile Defense in Israel: Iron Dome, David’s Sling, and the Arrow Programs*. Center for Strategic and International Studies (CSIS).
- > Horowitz, Michael C. (2019). *Artificial Intelligence and the Future of War*. In Survival.
- > International Committee of the Red Cross (ICRC) (2019). *Artificial Intelligence and Machine Learning in Armed Conflict: A Human-Centred Approach*.
- > Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD). *Autonomy in Weapon Systems – DoD Directive 3000.09* (2012, actualizado).

(*) **José Alberto Guglielmo**: Coronel de Artillería (R); Ingeniero en Sistemas de Armas Electrónicas; posgrado en Criptografía y Seguridad Teleinformática (EST “GrI M N Savio); Docente Investigador (Ministerio de Educación); Miembro COPITEC. Se desempeñó en la recepción de materiales y proyectos de Defensa Antiaérea con la fábrica Orlikon; como Secretario de Investigación de la EST “GrI M. N. Savio”; en el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, como Jefe del Departamento de Control Guiado y Simulación, Gerente de Tecnología e Innovación y Director de Proyectos de Ejército. Docente Universitario de la Facultad de Ingeniería del Ejército “GrI M N Savio” y de la Universidad de Palermo-Facultad de Ingeniería. Participa en proyectos en el Centro de Investigación de Desarrollo de Sistemas Operacionales del Ejército; Analista y Director del CEPTM “GrI MOSCONI”.