

BUENOS AIRES, 11 de diciembre de 2024.

AL DIRECTOR DE LA CARRERA DE POSGRADO "ESPECIALIZACIÓN EN ESTRATEGIA OPERACIONAL Y PLANEAMIENTO MILITAR CONJUNTO"

De acuerdo con lo establecido en el Reglamento de la Carrera, solicito al Director quiera tener a bien considerar para su aprobación el siguiente Trabajo Final Integrador:

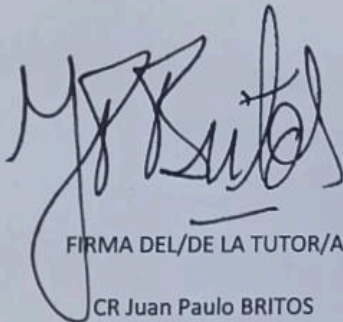
AUTOR/A: My EA Juan Edelmiro BELMAR

TEMA: Empleo de Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (SANT) a nivel teatro de operaciones/ áreas de responsabilidad

TÍTULO: El empleo de los sistemas de aeronaves no tripuladas como medio de alerta estratégica en el Área de Responsabilidad del Teatro de Operaciones

TUTOR/A: CR EA Juan Paulo BRITOS

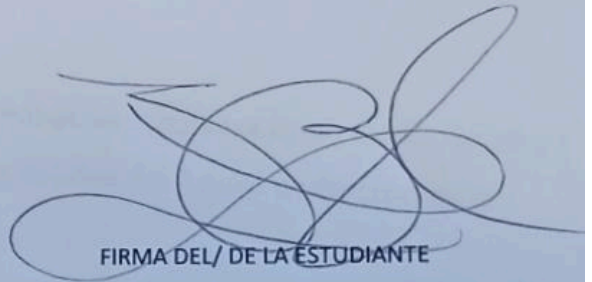
Sin otro particular saludo a usted atte.



FIRMA DEL/DE LA TUTOR/A

CR Juan Paulo BRITOS

ACLARACIÓN



FIRMA DEL/ DE LA ESTUDIANTE

My Juan Edelmiro BELMAR

ACLARACIÓN

---

PARA USO EXCLUSIVO DE LA SECRETARÍA DE LA CARRERA:

RECIBIDO:



## **ESPECIALIZACIÓN EN ESTRATEGIA OPERACIONAL Y PLANEAMIENTO MILITAR CONJUNTO**

### **TRABAJO FINAL INTEGRADOR**

**TÍTULO:** El empleo de los sistemas de aeronaves no tripuladas como medio de alerta estratégica en el Área de Responsabilidad del Teatro de Operaciones.

**AUTOR:** MY EA JUAN EDELMIRO BELMAR

**TUTOR:** CR JUAN PAULA BRITOS

**AÑO:** 2024

“Las ideas expuestas sólo representan la postura personal del autor, por lo que son de su absoluta responsabilidad, no reflejando en consecuencia la opinión de la Escuela Superior de Guerra Conjunta de la Facultad Militar Conjunta de la Universidad de la Defensa Nacional”

## **Resumen**

Los avances tecnológicos como los Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (SANT), la inteligencia artificial (IA) y la ciberdefensa (CD) han introducido dinámicas inéditas en los conflictos modernos propios de la era de la información. Estas innovaciones han permitido operaciones militares muy precisas y eficaces, la aplicación de estrategias y tácticas militares complejas, pero también han planteado grandes desafíos éticos. Aunque la naturaleza violenta de la guerra no ha cambiado, el planeamiento y la conducción de las operaciones de las potencias mundiales han evolucionado drásticamente, reflejando la influencia de estas tecnologías.

De manera que las amenazas del entorno actual requieren explorar y aprovechar al máximo las tecnologías disponibles para asegurar la eficacia y seguridad de las operaciones.

Precisamente los sistemas de aeronaves no tripulados (SANT), también conocidos por sus siglas en inglés UAS (Unmanned Aircraft Systems) o comúnmente conocidos como drones, han experimentado una evolución significativa desde sus primeros intentos en el siglo XX, hasta su amplia utilización en la actualidad. Esta tecnología se ha convertido en un artilugio esencial en los conflictos modernos, ejemplo de ello es el reciente enfrentamiento entre Rusia y Ucrania de febrero de 2022, proporcionando inteligencia en tiempo real, capacidad de ataque de precisión, apoyo a las operaciones terrestres y la acción psicológica que provoca a las tropas desplegadas en todo el Teatro de Operaciones.

Afirmamos que la importancia del empleo de estos novedosos sistemas se posiciona como un instrumento fundamental para los comandantes en la conducción de la campaña, incrementando la capacidad de monitorear vastas áreas de manera continua y precisa, consolidándose como un dispositivo indispensable en las operaciones militares moderna.

En concordancia con lo anteriormente descrito, este Trabajo Final Integrador analiza el potencial de los Sistemas Aéreos No Tripulados como herramientas de alerta estratégica, protección y su empleo como muro o barrera activa que detecte y responda a amenazas en tiempo real configurando un sistema de seguridad y defensa a las fuerzas en el campo de batalla.

### **Palabras claves**

Conflictos Modernos – Sistemas de Aeronaves No Tripuladas –Protección – Seguridad – Alerta estratégica

## Índice de Contenidos

|                                                                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introducción.....</b>                                                                                                                  | <b>1</b>  |
| <b>Capítulo 1 Los Sistemas Actuales de Aeronaves No Tripulados.....</b>                                                                   | <b>11</b> |
| <b>1.1 Tipos y clasificación de los Sistemas de Aeronaves No Tripulados.....</b>                                                          | <b>11</b> |
| <b>1.2 Sistemas multi robots y enjambres aéreos.....</b>                                                                                  | <b>16</b> |
| <b>Capítulo 2 El uso de los Sistemas de Aeronaves No tripulados en los Conflictos Actuales.....</b>                                       | <b>21</b> |
| <b>2.1 Los enjambres de SANT en la actualidad.....</b>                                                                                    | <b>21</b> |
| <b>2.2 Las empresas de drones.....</b>                                                                                                    | <b>25</b> |
| <b>2.3 Contramedidas y vulnerabilidades.....</b>                                                                                          | <b>30</b> |
| <b>Capítulo 3. El empleo efectivo como Alerta Estratégica.....</b>                                                                        | <b>32</b> |
| <b>3.1 Herramienta de Alerta Estratégica.....</b>                                                                                         | <b>32</b> |
| <b>3.2 Medio contribuyente a la función conjunta de protección.....</b>                                                                   | <b>35</b> |
| <b>Conclusiones.....</b>                                                                                                                  | <b>38</b> |
| <b>Tabla 1. Clasificación de las Aeronaves no tripuladas basada en performance.....</b>                                                   | <b>13</b> |
| <b>Tabla 2. Clasificación de las Aeronaves no tripuladas basada en el Peso Máximo de Decolaje y en la Velocidad Máxima Operativa.....</b> | <b>14</b> |
| <b>Tabla 3. Categorías y características de los SANT.....</b>                                                                             | <b>15</b> |
| <b>Tabla 4. Cuadro comparativo uso de los SANT .....</b>                                                                                  | <b>24</b> |
| <b>Bibliografía.....</b>                                                                                                                  | <b>41</b> |

## **Introducción**

El presente trabajo se focaliza en el análisis del impacto y la eficiencia de la integración de los sistemas de aeronaves no tripuladas (SANT) como herramienta de alerta estratégica en el área de responsabilidad del Teatro de Operaciones, para fortalecer las capacidades de la función conjunta de protección durante el planeamiento en el período 2022-2024.

El interés por los SANT, en este caso, enmarcado dentro de la línea de investigación: El Empleo de Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (SANT) a nivel teatro de operaciones/ áreas de responsabilidad no es casual. A lo largo de todas las asignaturas dictadas en la Especialización en Estrategia Operacional y Planeamiento Militar Conjunto vimos el gran impacto de las nuevas tecnologías en el campo de batalla. Esto nos llevó a reflexionar sobre la importancia de los drones de fabricación civil en los conflictos actuales. Ya que con pocos recursos económicos se pueden obtener grandes ventajas operacionales.

Este trabajo se divide en tres capítulos. En el primer capítulo titulado “Los Sistemas Actuales de Aeronaves No Tripulados” nos preguntamos ¿Cuáles son los principales características, clasificaciones y tecnologías asociadas a los sistemas actuales de aeronaves no tripuladas, incluyendo sistemas multi robots y enjambres aéreos?

En el segundo capítulo titulado “El uso de los Sistemas de Aeronaves No tripulados en los Conflictos Actuales” indagamos sobre ¿Cómo se están empleando actualmente los enjambres de sistemas de aeronaves no tripuladas en los conflictos bélicos, y cuáles son sus principales contramedidas y desafíos?

Ya en el tercer capítulo titulado “El empleo efectivo como Alerta Estratégica” vemos, ¿De qué manera los sistemas de aeronaves no tripuladas pueden ser empleados como herramientas de alerta estratégica y como contribuyen a la función conjunta de protección?. Por último, presentaremos las conclusiones de este trabajo.

Para introducirnos en esta temática nos preguntamos ¿Por qué investigamos los Sistemas de Aeronaves No Tripulados? En los recientes conflictos bélicos que ocurrieron en Ucrania y Gaza, se puede observar la importancia de las nuevas tecnologías, destacándose el empleo de los sistemas de aeronaves no tripulados (SANT) como una de las innovaciones más significativas de las últimas décadas en la aviación moderna, lo que permitió llevar a ejecución una amplia gama de

misiones mediante el uso de plataformas aéreas controladas a distancia, eliminando el riesgo para la integridad física del operador y a contribuir a salvar más vidas en el campo de batalla.

Estas tecnologías experimentaron su auge, tras la Guerra del Golfo de 1991 por parte del ejército de Estados Unidos de Norte América contra la República Iraquí. Lo que mostró un primer vistazo de las capacidades tácticas de los sistemas de aeronaves no tripuladas, que realizan principalmente tareas de reconocimiento de objetivos de alto valor y corrección de los fuegos de artillería. Que manifiesta la importancia de contar con un medio de vigilancia y observación aérea que no ponga en riesgo vidas humanas.

Tras los atentados de las Torres Gemelas el 11 de septiembre de 2001 y la subsecuente guerra contra el terrorismo, se produjo un cambio significativo en la manera en que los drones comenzaron a ser utilizados en las operaciones. Los SANT empezaron a ser utilizados en misiones de ataque de precisión con misiles guiados contra Blancos/ Individuos de Alto Valor<sup>1</sup> (B/ IAV) en entornos hostiles y de difícil acceso, como en las regiones montañosas de Afganistán y zonas urbanas densamente pobladas, para enfrentar a los grupos terroristas de Al Qaeda en Yemen. Estas tácticas han permitido cumplir con los objetivos eficazmente sin comprometer una cantidad significativa de recursos humanos y materiales.

Durante la década de 2010, se realizaron mejoras en los diseños y rendimientos, se incrementaron las capacidades de los sistemas de aviones no tripulados mediante avances en la tecnología de sensores, sistemas de propulsión y autonomía, lo que generó una gran diversificación y sofisticación en el uso de drones, sumado al desarrollo de la inteligencia artificial que ha permitido la operación autónoma y la toma de decisiones en tiempo real, mientras que las mejoras en sistemas de comunicación aseguraron enlaces de datos seguros y confiables.

Es importante destacar también que la integración de drones en operaciones conjuntas y en redes de información avanzadas han ampliado su utilidad,

---

<sup>1</sup> Según la doctrina conjunta de las Fuerzas Armadas argentinas los B/IAV son medios indispensables para que el enemigo adopte una capacidad. Destacamos que los B/ IAV son medios del enemigo, no fracciones, por ejemplo, un blanco de alto valor para las operaciones de franqueo son los puentes enemigos y no la unidad de ingenieros. Para operaciones especiales un B/ IAV puede ser el comandante enemigo.

explotando intensamente las capacidades de los SANT para optimizar el planeamiento de las operaciones y todo el proceso de planeamiento de inteligencia.

A su vez, sabemos que el proceso de planeamiento de inteligencia analiza el ambiente operacional y las fuerzas en presencia para obtener información sobre el enemigo, las condiciones meteorológicas y el terreno. Para ello, los sistemas aéreos no tripulados pueden operar en la tercera dimensión independientemente de las limitaciones que impone el terreno, dado que, sobrevuelan y contribuyen a mantener controlados los espacios vacíos que el personal en tierra no puede cubrir, generalmente por la sobredimensión de las zonas de responsabilidad.

En referencia a la temática se puede observar distintos trabajos de investigación, Nantillo (2010) en su Trabajo Final de Investigación (TFI) sobre el tema: “El apoyo de la Inteligencia en el Teatro de Operaciones a la luz de Sistemas de Aeronaves No Tripulados en el T.O en apoyo a la toma de decisiones del Comandante”, concluyendo que todo Comandante Operacional debe considerar a los SANT como una herramienta de gran potencial para el planeamiento y conducción de las operaciones, integrando estos a la maniobra operacional. El autor también nos dice que estos sistemas contribuirán en el planeamiento de la Campaña de acuerdo al Diseño Sistémico Operativo a través de la obtención de información para contribuir a la identificación y selección del centro de gravedad del enemigo, sus capacidades críticas, requerimientos críticos y vulnerabilidades críticas. Otro aspecto que concluyó fue que durante las operaciones facilita el comando y control de las líneas de operaciones.

Raimondo (2013) en su Trabajo Final de Investigación (TFI) siendo su tema “El Uso Militar de los Vehículos Aéreos No Tripulados a la luz del Empleo de Vehículos Aéreos No Tripulados en el Nivel Operacional del Conflicto” esbozando la siguiente conclusión. Los SANT son más rápidos y precisos que los aviones tripulados, son especialmente adecuados para operaciones de combate y en operaciones estratégicas debido a su maniobrabilidad, precisión y capacidad de penetración. Sin embargo, la preocupación por los daños colaterales y su impacto en la opinión pública global siguen siendo una cuestión relevante.

Por otra parte, Campanelli (2014) en su TFI se refirió a la Acción Militar Conjunta a la luz de la utilización conjunta de los Sistemas Aéreos no Tripulados en el Teatro de Operaciones en donde concluyó que no es necesario el desarrollo de SANT conjuntos, sino que lo necesario es tener la capacidad de poder integrar el

alcance de sus efectos en un Teatro de Operaciones, y que el comando y control debe estar al más alto nivel dependiendo directamente del Comandante del Teatro.

Cabe destacar que estos trabajos mencionados abordan el empleo de los sistemas de aeronaves no tripulados en el Teatro de Operaciones desde distintas perspectivas, pero no se han encontrado detalles sobre el enfoque que deseamos profundizar en esta investigación. Enfocado precisamente en el potencial empleo de los sistemas de aeronaves no tripuladas como medio de alerta estratégica y protección que actúe como una barrera activa que detecta y responde a amenazas en tiempo real como un muro o también llamado enjambre de drones suicidas; con la capacidad que se configuren automáticamente como un sistema de seguridad y defensa antiaérea en el Área de Responsabilidad del Teatro de Operaciones.

Destacamos que, en los conflictos anteriores a la guerra entre Rusia y Ucrania, el uso de los Sistemas Aéreos No Tripulados predominaba en el ámbito de la inteligencia. Estos sistemas obtenían información fundamental sobre el Comando, Control, Comunicaciones e Inteligencia (C3I) del enemigo. Facilitando así la coordinación y el flujo de información. Al desempeñar misiones de reconocimiento, los SANT permitían la obtención de datos detallados del terreno y del enemigo sin ser detectados. En cuanto a las misiones de ataque, se empleaban para llevar a cabo bombardeos y ataques precisos, minimizando los daños colaterales. Además, los SANT mejoraron la logística y el apoyo a las tropas en el campo, al transportar suministros vitales a zonas de difícil acceso.

La invasión a Ucrania por parte de la Federación Rusa el 24 de febrero de 2022, así como los ataques de Hamás sobre Israel del 7 de octubre de 2023, han mostrado el importante papel desempeñado por los SANT en el resultado de las acciones ejecutadas por las partes enfrentadas, mejorando los métodos y tácticas empleados y favoreciendo el éxito de la operación. El empleo de los SANT ha sido masivo, se han registrado ataques con drones kamikaze con capacidad para portar ojivas explosivas de 50 kilogramos, suficientes para causar daños considerables a estructuras e infraestructuras o atacar objetivos como depósitos de municiones, aeródromos, puestos de comando y control, e incluso instalaciones civiles. También se han usado motos acuáticas dotadas de un sistema de guiado y cargadas de explosivos para atacar a la flota rusa en Crimea, o vehículos terrestre autónomos en tareas de desminado.



Es evidente que el potencial de los Sistemas de Aeronaves No Tripuladas es formidable y aún no ha sido completamente explorado en muchos casos. Las capacidades avanzadas de estas aeronaves abren horizontes que alguna vez se consideraron inimaginables. En el contexto del combate actual, estas tecnologías han demostrado su relevancia y han influenciado significativamente conflictos como el actual entre Rusia y Ucrania tal como lo mencionamos anteriormente.

Este enfoque planteado no sólo aumenta la capacidad de vigilancia y respuesta, sino que también permite una defensa más dinámica y adaptable, capaz de reaccionar rápidamente a cambios en la situación del campo de batalla. Por consiguiente, la integración de los SANT en las estrategias militares no solo mejora la eficiencia y efectividad de las operaciones; a medida que la tecnología avanza, es fundamental que se incremente la conciencia sobre las capacidades y limitaciones de estos sistemas para aprovechar al máximo su potencial. La investigación sobre conflictos modernos, aunque no sea tema de este trabajo, ayuda a identificar riesgos emergentes y desarrollar contramedidas efectivas para proteger los intereses vitales de una Nación.

Podemos destacar también que los sistemas de aeronaves no tripuladas proporcionan una gran cantidad de información en tiempo real que puede ser crucial para el comandante en la toma de decisiones estratégicas y tácticas. Investigar cómo aprovechar al máximo esta información y utilizarla para planificar y ejecutar operaciones militares puede mejorar significativamente la capacidad de respuesta y la eficacia de las Fuerzas Armadas por cuanto las amenazas en el entorno actual abarcan una amplia gama de situaciones y eventos que pueden comprometer la seguridad y la estabilidad de cualquier operación militar.

El tema seleccionado es tratado por una diversidad de autores a nivel mundial, y sus conclusiones son adoptadas por la doctrina conjunta de diversos países, incluida la República Argentina, lo que revela la importancia y actualidad del tema.

Una aproximación a profundizar en la temática fue planteada por Pineira (2022) en su trabajo final de investigación titulado “Empleo de aeronaves no tripuladas en el nivel táctico del conflicto para apoyo de fuego aéreo cercano”. En este sentido, contempla el uso de SANT en misiones de apoyo de fuego aéreo cercano en el nivel táctico desde la perspectiva de la función de apoyo de fuego. Aunque la aparición de SANT pequeños y económicos, como los utilizados en los sistemas de enjambre o muro, ha planteado nuevas amenazas en el campo de batalla,

estos pueden operar en forma coordinada y autónoma, capaces de realizar ataques del tipo kamikaze o suicida, saturando las defensas enemigas y causando daños significativos. El desarrollo de estos sistemas de ataque por enjambre se ha visto impulsado por la necesidad de crear una fuerza de ataque económica y efectiva, capaz de operar en entornos complejos y desafiantes.

A tal efecto, podemos reflexionar sobre el concepto de innovación militar ya que a lo largo del anterior apartado vimos que a medida que la tecnología aplicada a los drones mejoraba se abría un abanico de posibilidades de empleo en combate.

Según Jordan (2014) la introducción del helicóptero en la Guerra de Corea, y posteriormente la Guerra de Vietnam dio un salto cuantitativo y cualitativo a las operaciones militares terrestres con las fuerzas helitransportadas, una verdadera innovación militar. A su vez, Grissom (2006) nos dice que la innovación militar positiva es el resultado de un cambio integral que afecta de manera significativa en la doctrina y el adiestramiento, y a menudo, en la orgánica y material de los ejércitos porque supone una mejora sustancial en el cumplimiento de una o varias misiones. Observando que ello ha sucedido con los SANT en estas últimas décadas.

Vale decir que artículos periodísticos especializados nos dicen que la Fuerza Aérea norteamericana entrena hoy más personal para volar aviones sin tripulación que pilotos tradicionales, y el programa de los SANT del Pentágono es de los pocos que no ha sufrido recortes presupuestarios.

Raimondo (2013) realizó una comparación muy interesante entre las aeronaves tripuladas y los SANT destacando las ventajas y desventajas de estos últimos que justifican de alguna manera lo anteriormente descripto.

Ventajas:

- ✓ No ponen en riesgo las vidas de los pilotos militares.
- ✓ Poseen mayor maniobrabilidad ya que pueden realizar movimientos bruscos, aceleraciones y desaceleraciones que no se podrían ejecutar con una tripulación a bordo, dado el esfuerzo físico que tendría que soportar.
- ✓ Mayor capacidad de supervivencia, por tener un diseño y tamaño que reduce la reflexión de la onda electromagnética proveniente de un radar.
- ✓ Mejor aprovechamiento del volumen de la plataforma al no estar condicionada a ninguna necesidad ergonómica, por lo que el espacio de la cabina puede ser ocupado por sistemas electrónicos, armamento o carga útil.
- ✓ Mejor empleo de tecnología miniaturizada, otorgándole menor volumen, peso y consumo.
- ✓ Menor servidumbre logística.

- ✓ Mayor facilidad de transporte.
- ✓ Menor tiempo de entrenamiento de los operadores con respecto a pilotos militares.
- ✓ Mayor flexibilidad para desarrollar distintas operaciones por la existencia de módulos de rápida colocación para configurar el VANT según la misión a realizar.
- ✓ Acceso a zonas restringidas para vehículos tripulados por contaminación o radiación.
- ✓ Menor impacto ambiental al producir bajo nivel de ruido y emanar bajos niveles de CO2.
- ✓ Menor costo en la formación de operadores en relación a pilotos militares.
- ✓ Menor costo de mantenimiento.
- ✓ Mejor relación costo/eficiencia.

#### Desventajas

- ✓ Mayor escepticismo y falta de confianza para el transporte de tropas.
- ✓ Mayor vulnerabilidad a ser infectado por un virus informático y por el accionar de hackers.
- ✓ No poseen la inteligencia, el sentido común ni el raciocinio que poseen los pilotos militares, pudiendo ocasionar daños colaterales o efectos no deseados por un Comandante en el Teatro de Operaciones.
- ✓ Menor velocidad de desplazamiento.

En ese contexto y debido a la incorporación de armamento, así como sensores más perceptivos y con mayor capacidad, medios de enlace de datos y transmisión de imágenes avanzados, medios de navegación más precisos y procesadores más veloces; el abanico de misiones que potencialmente podrían ser asignadas a los SANT se ha ido incrementando progresivamente abarcando prácticamente todas las confiadas hoy en día a las aeronaves tripuladas. Sin embargo, debe considerarse que estos vehículos no tripulados, al no tener la inteligencia, el sentido común ni el raciocinio que poseen los pilotos militares, podrían realizar acciones contrapuestas a la intención de un Comandante en el Teatro de Operaciones tal como lo señalamos en las desventajas descriptas. Nos preguntamos entonces, ¿Cómo podría solucionar este problema la Inteligencia Artificial Generativa <sup>2</sup>en el corto plazo?

Más allá del estado actual del tema y debido a la vacancia de investigaciones al respecto, el enfoque que se pretende analizar en esta investigación trata sobre el

---

<sup>2</sup> La inteligencia artificial (IA) generativa es una herramienta que puede ayudar a tomar decisiones y acelerar el aprendizaje. La IA generativa se basa en un modelo de aprendizaje automático que aprende patrones y relaciones de un conjunto de datos de contenido creado por personas. Luego, utiliza los patrones aprendidos para generar contenido.

empleo de los sistemas de aeronaves no tripuladas desde la función conjunta de Protección como medio de alerta estratégica en el Área de Responsabilidad del Teatro de Operaciones. Del mismo modo, trataremos sus aplicaciones en diferentes escenarios bélicos como el conflicto entre Rusia y Ucrania, así como en los enfrentamientos en Israel entre otros. Para identificar las nuevas ventajas y los desafíos del empleo de SANT en operaciones terrestres, navales y aéreas en el teatro de operaciones.

La nueva aparición de SANT pequeños y económicos en la escena bélica, como los utilizados en los sistemas de enjambre o muro, ha planteado nuevas amenazas en el campo de batalla. Ya que estos pueden operar en forma coordinada y autónoma, capaces de realizar ataques del tipo kamikaze o suicida, saturando las defensas enemigas y causando daños significativos. El desarrollo de estos sistemas de ataque por enjambre se ha visto impulsado por la necesidad de crear una fuerza de ataque económica y efectiva, capaz de operar en entornos complejos y desafiantes.

Finalmente, como resultado del proceso de investigación realizado, no se han encontrado estudios concernientes al empleo de sistemas de ataque por enjambre como medio de protección a las fuerzas, capaces de configurarse como un sistema de alerta estratégica. Por lo tanto, el presente trabajo aportará una perspectiva innovadora para el estudio de los diferentes factores a tener en cuenta, dado que los sistemas de ataque por enjambre plantean nuevos desafíos para la defensa.

Coincidimos con que estos desafíos requieren la implementación de estrategias y tecnologías innovadoras para contrarrestarlos. Los sistemas de defensa antiaérea tradicionales, diseñados para interceptar misiles de crucero o aviones de combate, pueden no ser efectivos contra estos pequeños drones. De allí que la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, como el uso de sistemas de defensa electrónica, las armas de energía dirigida o los sistemas de inteligencia artificial para contrarrestar estos enjambres, son cruciales para garantizar la seguridad en el futuro.

El interrogante que se plantea para el presente trabajo es el siguiente: ¿De qué manera podrán contribuir las capacidades de los Sistemas de Aeronaves No Tripulados en la alerta estratégica y en la función conjunta de protección a las fuerzas dentro del Área de Responsabilidad del Teatro de Operaciones?

Primeramente, decimos que los sistemas de aeronaves no tripuladas proporcionan una gran cantidad de información en tiempo real que puede ser crucial para el comandante en la toma de decisiones estratégicas y tácticas. Investigar cómo aprovechar al máximo esta información y utilizarla para planificar y ejecutar operaciones militares puede mejorar significativamente la capacidad de respuesta y la eficacia de las fuerzas armadas.

Continuando con este análisis preliminar nos proponemos dar cuenta de los pasos y de las decisiones metodológicas tomadas a lo largo de esta investigación cuyo objetivo general es analizar el impacto y la eficiencia de la integración de los sistemas de aeronaves no tripuladas como herramienta de alerta estratégica en el área de responsabilidad del Teatro de Operaciones (TO) para fortalecer las capacidades de la función conjunta de protección durante el planeamiento.

Los objetivos particulares son:

- ✓ Examinar las características técnicas y operativas de los sistemas de aeronaves no tripulados (SANT) disponibles para la función de alerta estratégica y protección en el Teatro de Operaciones (TO).
- ✓ Analizar el potencial de la implementación de los SANT en la capacidad de detección, ataque y seguridad ante amenazas en el área de responsabilidad del TO.
- ✓ Operacionalizar el actual empleo de los SANT como medio de Protección y la doctrina vigente.

Conviene señalar que ser parte integrante de las FFAA nos lleva a pensar en los preconceptos que arrastramos. Poder identificarlos y que no se filtren en el análisis de esta investigación es una tarea que nos lleva a tener siempre una mirada autocrítica y reflexiva para lograr darle el papel fundamental a la normativa vigente.

Este Trabajo Final Integrador se enmarca dentro de la línea de investigación “Empleo de Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (SANT) a nivel teatro de operaciones/ áreas de responsabilidad”, y el aporte se llevará a cabo desde la perspectiva de la función conjunta de protección y como herramienta de alerta estratégica desde una mirada teórica y con una técnica de recolección de datos de fuentes secundarias.

Realizaremos un tipo de estudio descriptivo detallando las características de los sistemas de aeronaves no tripulados capaces de ser empleados como medio de

protección de las fuerzas y objetivos críticos. Se analizarán los conflictos armados de Rusia-Ucrania y la Franja de Gaza entre otros. Para ello, debemos entonces circunscribir, delimitar temporalmente nuestro caso de estudio, seleccionar las fuentes documentales que se constituyen en nuestro corpus.

Referente a la temporalidad el período seleccionado es 2022-2024, ya que, por una exploración previa a partir de ese año y debido al conflicto entre Rusia-Ucrania se empezaron a utilizar en masa drones económicos y civiles para cumplir variadas misiones en el Teatro de Operaciones,

Este trabajo pretende contribuir al campo de conocimiento del área de Operaciones y Planeamiento Militar Conjunto de nivel operacional con una mirada analítica de los SANT y su empleo como medio de Alerta Estratégica en la actualidad. Porque entendemos que la nueva tecnología aplicada al campo de combate favorece a la eficiencia de la Fuerzas Armadas (FFAA) como un todo para cumplir con las misiones impuestas.

A continuación, en los próximos dos capítulos presentamos los hallazgos de esta investigación.

## **Capítulo 1 Los Sistemas Actuales de Aeronaves No Tripulados**

Para alcanzar el objetivo propuesto en esta investigación es necesario definir y explicar las principales características de los Sistemas de Aeronaves No Tripulados (SANT), así como sus partes componentes y las diferentes clasificaciones. Esta tecnología emergente que se caracteriza por su bajo costo, versatilidad, sencillez y de fácil acceso para la población civil, se encuentra en permanente evolución en términos de fiabilidad de sus componentes como de las tecnologías asociadas.

### **1.1 Tipos y clasificación de los Sistemas de Aeronaves No Tripulados**

Los SANT o comúnmente conocidos por sus siglas en inglés UAV (Unmanned Aircraft Vehicle) son aeronaves diseñadas cuya característica principal es que puede operar sin ningún piloto a bordo, sino que se controlan de forma remota o vuelan directamente de forma autónoma tal como señala García- Aunon et al (2021). Es decir, estos tipos de vehículos aéreos pueden ser controlados de manera remota desde una estación en tierra, donde un operador dirige su vuelo, o bien pueden ser programados por una computadora para seguir rutas preestablecidas a distintas altitudes, dependiendo sus características.

Una de las principales ventajas en el uso de estos SANT es que, en caso de derribo, no se pone en peligro la vida humana por lo cual pueden ser utilizados en misiones con cierto grado de riesgo. Además, estas aeronaves no enfrentan las mismas limitaciones que poseen los pilotos de aviación, lo que les permite que puedan realizar tareas más riesgosas o tediosas, ejecutando estas actividades en forma mucho más eficiente y rentable. A diferencia de los aviones tripulados, los drones permiten al operador observar y monitorear el objetivo en tiempo real durante toda la misión, mantener el control y la decisión hasta el último segundo, ajustar la trayectoria o incluso cancelar si la situación cambia, recuperando el dron para futuras operaciones o, en ciertos casos, desecharlos si fuera necesario.

Otra gran característica que no podemos dejar de mencionar es su bajo costo, en relación con las tareas que pueden llegar a cumplir y su extensión de uso en el ámbito civil por su fácil diseño y fabricación. Hoy en día, es sencillo encontrar cuadricópteros (aeronaves con cuatro alas rotatorias) con una gran estabilidad y

grado de autonomía por precios bajos, algo difícilmente imaginable hace 10 años. Además, muchos fabricantes como Parrot o DJI han creado librerías para poder controlarlos mediante programas de desarrollo propio, permitiendo que centros educativos y de investigación, empresas e incluso particulares interesados puedan utilizarlos en tareas específicas tal como señala García- Aunon et al (2021).

Estos sistemas aéreos no tripulados pueden ser de ala fija o rotativa, varían en tamaño y están equipados con diversos sensores remotos, como GPS, cámaras de visión nocturna, cámaras térmicas y radares. Algunos modelos incluso son capaces de realizar vuelos autónomos en zonas sin señal de GPS, gracias a avanzados sistemas de navegación.

En la actualidad, la doctrina conjunta argentina contempla una Circular de Aeronavegabilidad Militar (2022), cuyo objeto es establecer los conceptos básicos relacionados con la aeronavegabilidad y las limitaciones de los Sistemas Aeronaves No Tripulados (SANT) militares, detallando las siguientes definiciones al respecto:

- ✓ SANT Militares: Son Sistemas de Aeronaves No Tripuladas operadas por las FFAA argentinas, conformados por el VANT con matrícula militar, la Estación Terrestre y el Enlace de Comunicaciones.
- ✓ VANT: Aeronave que no posee piloto a bordo y que es controlada de manera remota desde una estación de control a través de un enlace electrónico u opera de manera autónoma. El VANT está compuesto por la plataforma aérea y sus cargas útiles.
- ✓ Estación Terrestre: Instalación remota, fija o móvil, desde la que se ejerce el comando y control (C2) y gestión de datos.
- ✓ Enlace de Comunicaciones: Enlace entre estación terrestre y VANT que permite el control del vuelo, control de misión y navegación y transferencia de datos.
- ✓ Piloto Remoto: Persona debidamente habilitada, que ejerce desde un puesto remoto el control de vuelo y navegación del SANT, con las responsabilidades de Piloto al Mando.
- ✓ Operador de SANT: Organismo militar responsable por la operación directa del SANT.

Los Sistemas de Aeronaves No Tripulados no tienen una única forma de clasificarlos, existen diferentes modelos que difieren en tamaño, peso, velocidad,



altitud, autonomía, sistema de guiado, en las operaciones que ejecuten, así como los escenarios o áreas donde se los requiere. Para unificar criterios, vamos a guiarnos en esta clasificación por la doctrina conjunta de las Fuerzas Armadas argentinas que los clasifica en dos grandes ramas, una de ellas basada en el Peso Máximo de Decolaje (sigla en inglés MTOW) y en la Velocidad Máxima Operativa (sigla en inglés VMO) y basada en la Performance (Altitud de Operación y Autonomía). Al referirnos a la clasificación basada en el Peso Máximo de Decolaje (MTOW) y en la Velocidad Máxima Operativa (VMO) debemos realizar las siguientes aclaraciones:

1. La masa y la velocidad máxima operativa son indicadores de la energía cinética que es capaz de alcanzar el VANT. A mayor energía cinética, mayor es la capacidad de producir daño en caso de colisión, por lo que resulta conveniente para categorizar los VANT a los efectos de establecer requisitos de certificación.
2. Como clasificación basada en el peso se adoptará la del peso máximo de decolaje, estableciendo las siguientes categorías:

| Categoría | Subcategoría | MTOW                           | VMO                           | Certificación | Matriculación |
|-----------|--------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|
| I         | 1            | Hasta 0,5 Kgs                  | -                             | No requiere   | No requiere   |
|           | 2            | Mayor de 0,5 Kgs hasta 25 Kgs  | Hasta 160 Km/h                | No requiere   | Es requerida  |
|           | 3            |                                | Mayor a 160 Km/h              | Es requerida  |               |
|           | 4            |                                | Mayor de 25 Kgs hasta 150 Kgs |               |               |
| II        | -            | Mayor de 150 Kgs hasta 600 Kgs | VMO >0                        |               |               |
| III       | -            | Mayor de 600 Kgs               |                               |               |               |

Aclaraciones:

**MTOW:** Maximum Take Off Weight - Peso máximo de decolaje.

**VMO:** Velocidad Máxima Operativa.

**Tabla 1. Clasificación de las Aeronaves no tripuladas basada en el Peso Máximo de Decolaje (MTOW) y en la Velocidad Máxima Operativa (VMO).**

Al referirnos a la clasificación basada en Performance (Altitud de Operación y Autonomía) realizamos las siguientes aclaraciones:

1. Otra forma de clasificar los VANT, es considerando sus performances, comúnmente se tienen en cuenta altitud de operación y autonomía. Estas características resultarán importantes al momento de determinar las bases de certificación aplicables.
2. Como clasificación basada en performance, se establecen los siguientes tipos:

| <b>Tipo</b>                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Máxima Altitud de Operación</b>   | <b>Autonomía (Típica)</b>           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Baja altitud y reducida autonomía</b>                                                                                                                                                                                                                           | Hasta 10000 pies                     | Hasta 6 hs (VLOS – BVLOS)           |
| <b>Baja altitud y gran autonomía</b>                                                                                                                                                                                                                               | Hasta 10000 pies                     | Mayor de 6 hs a 12 hs (VLOS- BVLOS) |
| <b>Media altitud y gran autonomía (MALE)</b>                                                                                                                                                                                                                       | Mayor de 10000 pies hasta 45000 pies | Mayor de 6 hs a 24 hs (BVLOS)       |
| <b>Gran altitud y autonomía (HALE)</b>                                                                                                                                                                                                                             | Mayor de 45000 pies                  | Mayor de 24 hs                      |
| Aclaraciones:<br><b>VLOS:</b> Visual Line Of Sight - Línea de alcance visual.<br><b>BVLOS:</b> Beyond Visual Line Of Sight - Más allá de la línea de alcance visual.<br><b>MALE:</b> Medium Altitude, Long Endurance<br><b>HALE:</b> High Altitude, Long Endurance |                                      |                                     |

**Tabla 2. Clasificación de las Aeronaves no tripuladas basada en performance (Altitud de operación y autonomía).**

Los SANT han revolucionado el ámbito de la protección, defensa y seguridad, brindando una amplia gama de capacidades para fuerzas terrestres, navales y aéreas que pasamos a detallar para acercarnos al problema de investigación que nos atañe. En el ámbito terrestre, los SANT se utilizan para:

- ✓ Reconocimiento y vigilancia del terreno
- ✓ Detección de objetivos enemigos
- ✓ Control de fronteras y zonas de conflicto
- ✓ Apoyo logístico y transporte de materiales
- ✓ Ataque preciso contra objetivos enemigos

En el ámbito naval, los SANT se utilizan para:

- ✓ Vigilancia marítima y detección de embarcaciones sospechosas
- ✓ Protección de instalaciones costeras y buques
- ✓ Guerra antisubmarina
- ✓ Apoyo a las operaciones de rescate y búsqueda

En el ámbito aéreo, los SANT se utilizan para:

- ✓ Reconocimiento aéreo y vigilancia de grandes áreas
- ✓ Interceptación de aeronaves enemigas
- ✓ Guerra electrónica y ataques de precisión
- ✓ Apoyo a las operaciones de vigilancia y control del tráfico aéreo

Al respecto Rodríguez Durand (2018) nos dice que, a pesar de haber sido utilizados desde el final de la Segunda Guerra Mundial y gran parte en el medio militar, más recientemente estos tipos de vehículos ganaron popularidad en versiones de pequeño porte (tanto de los modelos de ala fija como los modelos de alas rotativas). Y se volvieron mundialmente conocidos, trayendo junto con su popularización la nomenclatura DRON (zángano en inglés) que ganó fuerza, tanto en el medio técnico como en el ámbito civil alrededor del mundo. De acuerdo a las fuentes consultadas por este autor, se pueden también clasificar de acuerdo a su tamaño y tipo de aplicación como lo veremos a continuación:

| <b>Categorías</b>   | <b>Características</b>                                                                             |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Micro-UAVs          | Pequeños drones que caben en la palma de la mano (en general pesan menos de 1 Kg).                 |
| Mini-UAVs           | De tamaño pequeño que pueden ser lanzados por una persona.                                         |
| Small Tactical UAVs | Intermedios entre Mini-UAV y TUAV, en general arrojados por catapulta o por algún sistema similar. |
| Tactical UAVs TUAVs | Usados para reconocimiento con una autonomía de diversas horas y con un alcance de hasta 200 Km.   |
| Naval UAVs          | Tácticos adoptados para operaciones en embarcaciones.                                              |
| MALE UAVs           | De altitud media y resistencia de larga duración.                                                  |
| HALE UAVs           | De alta altitud y resistencia de larga duración                                                    |

**Tabla 3. Categorías y características de los SANT –UAV- (Elaboración propia en base a Rodríguez Durand; 2018, 15)**

Para entender, y sin entrar en detalles sabemos que SANT se encuentra en disponibilidad en el mercado actual, ya que eso varía continuamente con el paso del

tiempo y los avances tecnológicos, es preciso desarrollar algunos conceptos técnicos que permiten dilucidar hacia a donde avanza la tendencia mundial para luego en los próximos capítulos analizar su uso en los conflictos actuales y como herramienta de la alerta estratégica.

## **1.2 Sistemas multi robots y enjambres aéreos.**

Los sistemas compuestos por más de un SANT presentan ventajas claras frente a los sistemas mono SANT debido a que la tarea a realizar puede ser subdividida en distintas tareas más sencillas y éstas ser asignadas a cada uno de los SANT. De esta forma, la misión se lleva a cabo de una forma paralela por varios agentes, más rápida y probablemente con mayor robustez. Adicionalmente, se puede rediseñar a los SANT para que cumplan ciertas subtarefas específicas, de forma que estos sean agentes especializados y, por lo tanto, más efectivos y con menor probabilidad que la misión en su conjunto falle.

Por el contrario, estos sistemas presentan la complejidad de que se deben crear métodos de coordinación y cooperación entre ellos generalmente con software diseñados para tal fin y hasta con Inteligencia Artificial (IA). Los enjambres de SANT surgen de un planteamiento inicial similar al de los sistemas multi-robot (completar una tarea compleja con un número elevado de agentes).

Desarrollados desde finales de los años 80 e inspirados en el comportamiento de ciertos animales como hormigas, abejas o peces formando bancos, los enjambres robóticos están diseñados para realizar tareas de cierta complejidad mediante grandes conjuntos de robots simples a nivel individual. Estos agentes actúan de forma reactiva, tomando decisiones basadas en información limitada e interactuando de forma local con el resto de los agentes del sistema. Tal como nos dice García- Aunon et al (2021) tómese como ejemplo una colonia de hormigas en busca de alimento. Cada hormiga, de forma individual, es poco capaz de encontrar alimento -no es capaz de obtener información a grandes distancias y su capacidad de movimiento-, además de que su orientación y comunicación es muy limitada. Sin embargo, una vez que una hormiga encuentra una fuente de alimento, el resto de la colonia es capaz de llegar hasta ella gracias al rastro de feromonas que van depositando cada una de ellas (camino que se va reforzando a medida que más hormigas pasan por él).

Las características claves de estos sistemas son que sean escalables, flexibles y robustos. Cuando nos referimos a escalables queremos decir que sean capaces de funcionar correctamente con un número creciente de agentes; flexibles para adaptarse a distintas situaciones y cambios de entorno; y robustos de forma que la misión o tarea se lleve a cabo a pesar de la pérdida o el mal funcionamiento de una parte de los agentes, del fallo de uno o varios elementos del sistema (como, por ejemplo, las comunicaciones).

Estas características deseadas imponen ciertas restricciones a los métodos utilizados en los enjambres. Por un lado, para conseguir robustez los métodos centralizados no son convenientes, ya que todo el sistema depende de una comunicación con el ordenador central que se puede perder. Por otro lado, los métodos deliberativos (es decir, aquellos que requieren una evaluación detallada de la información actualizada del entorno) no son apropiados si se desean escalables por cuanto el espacio de búsqueda de soluciones crece rápidamente con el número de agentes.

Además, para conseguir flexibilidad ante cambios en el entorno, estaría contraindicado emplear de nuevo un sistema centralizado y/o deliberativo. Las tareas que típicamente se han intentado resolver con enjambres robóticos han sido muy simples con robots terrestres, tales como el agrupamiento, sincronización, recolección de recursos, parada, formación de cadenas o despliegue. Se han considerado históricamente comunicaciones muy limitadas entre los agentes (por medio de leds, por ejemplo) o directamente sin ningún tipo de comunicaciones, con sensores locales (como medidores de distancia infrarrojos) y sin posicionamiento global. Estas hipótesis de simplicidad de hardware pierden su sentido cuando consideramos aeronaves tal como señala García- Aunon et al (2021).

Las tareas típicas que se intentan resolver con estos robots requieren de sistemas más sofisticados, como procesamiento de imágenes, posicionamiento global mediante satélites y comunicaciones más complejas. Son por tanto los métodos empleados en enjambres aéreos muy distintos de sus homólogos terrestres, acercándose más a lo que se entiende comúnmente como sistemas multi-robot. Aun así, se espera que un sistema multi-robot denominado de enjambre presente las características distintivas que anteriormente mencionamos, que lo distinguiría de un sistema multi-robot tradicional.

Para ello, es conveniente presentar el uso de algoritmos diseñados teniendo en cuenta las particularidades de estos tipos de sistemas. Sin ponernos muy técnicos dado que no es la finalidad de esta investigación, una gran parte de estos algoritmos están basados, al menos conceptualmente, en una serie de estrategias y métodos básicos que en muchas ocasiones han sido observados en la naturaleza. A continuación, repasaremos brevemente las seis principales según:

- ✓ Patrones de movimientos: El mecanismo probablemente más ampliamente usado es el seguimiento de patrones de vuelo previamente determinados. Estos consisten en un conjunto de reglas preestablecidas cuya aplicación resulta en patrones de movimiento. Existen múltiples patrones como el movimiento aleatorio o en espiral entre otros (aplicable también a los métodos de exploración). Los patrones de movimiento se han mostrado útiles en diversas tareas, como la búsqueda, la vigilancia y el mapeo. Sus principales ventajas son la sencillez a la hora de desarrollarlos y su escalabilidad, ya que cada agente toma sus propias decisiones siguiendo dichos patrones; por otro lado, se adaptan mal a los cambios en las condiciones del entorno (por ejemplo, si cambia el número de SANT).
- ✓ Campos de potenciales: Estos métodos están basados en los campos potenciales que se pueden encontrar en la naturaleza, como los campos eléctricos o gravitatorios. Se crean campos virtuales generados bien por agentes, obstáculos o puntos de interés de forma que cada SANT reaccione de una determinada forma deseada ante ellos, cuya intensidad depende normalmente de la distancia. Un caso típico es crear campos potenciales que creen fuerzas repulsivas en obstáculos de forma que los agentes tiendan a alejarse de ellos, o para mantener distancias apropiadas entre agentes. Al ser un método por lo general reactivo (aunque algunos algoritmos usan dichos campos potenciales para calcular rutas óptimas) se adapta bien a los cambios en el entorno, pese a que puede producir puntos de bloqueo.
- ✓ Redes de comportamientos: También inspiradas en la naturaleza, las redes de comportamiento consisten en conjuntos de módulos con misiones específicas que interactúan entre ellos de forma que las decisiones finales tomadas por cada SANT son el resultado de una actividad conjunta. Por ejemplo, uno de esos módulos podría estar dedicado a alejarse de un obstáculo, y otro a dirigirse a zonas no exploradas. Los comportamientos son sencillos de

programar a nivel individual, porque los diseñadores solo se deben enfocar en resolver una tarea en concreto. Sin embargo, la dificultad reside en conseguir comportamientos conjuntos que resuelvan la tarea global de forma efectiva. Por otro lado, estos métodos son reactivos en su gran mayoría, por lo que se adaptan bien a los cambios en el entorno.

- ✓ Optimización de trayectorias: Cuando se dispone de la información lo suficientemente completa del entorno y de los SANT, otra de las posibilidades es implementar algún método de optimización que calcule las mejores acciones a llevar a cabo por parte de los SANT. Por ejemplo, si se desea elaborar un mapa de una localidad con varios SANT –cuadricópteros-, se podría calcular previamente las trayectorias optimas a seguir por cada uno de ellos para cubrir el área de la forma más eficiente posible. Los métodos de optimización empleados para los sistemas –software- son diversos, y van desde el uso de la fuerza bruta o descenso por gradiente, hasta todo tipo de métodos heurísticos, como los algoritmos genéticos u optimización por enjambre de partículas. La optimización de trayectorias es un método planificado y por lo tanto arroja resultados que son, por lo general, mejores que los métodos reactivos anteriormente descritos.
- ✓ Feromonas virtuales: Las feromonas son sustancias químicas depositadas por algunos seres vivos que son usadas como medio de comunicación sencillo - en el caso de las hormigas, marcan un camino que comunica potencialmente una fuente de alimento con el hormiguero-. En el caso de la robótica, las feromonas son en la inmensa mayoría de las ocasiones virtuales, esto es, solo existen a nivel informático en cada una de las computadoras de los SANT, o en una computadora central que distribuye dicha información. En robótica terrestre, se pueden encontrar varios ejemplos de feromonas que son depositadas físicamente en el entorno, por ejemplo, mediante luz. En el caso de la búsqueda aérea, las feromonas virtuales son o bien depositadas o retiradas del entorno a medida que cada uno de los SANT visita una zona del mapa. De esta forma, los robots son guiados a zonas todavía no visitadas de una forma reactiva, y, por lo tanto, fácilmente escalable. Aunque las feromonas virtuales han sido usadas para otros tipos de tareas, es en la búsqueda y la vigilancia donde más frecuentemente se han usado.

- ✓ Ecuaciones dinámicas del movimiento: Para tareas con unos requerimientos dinámicos estrictos entre SANT, es usual encontrar algoritmos que se basan en el estudio de las ecuaciones dinámicas de las aeronaves de forma conjunta, como un único sistema. Con requerimientos dinámicos estrictos aquí nos referimos a requisitos de posicionamiento o velocidades de referencia que provocan el acoplamiento de los controles de bajo nivel de cada SANT. Por ejemplo, en el transporte conjunto de cargas, el movimiento de uno de los agentes tiene una repercusión directa en el movimiento del objeto que ayuda a portar, el cual a su vez impacta en el resto de los agentes. Los métodos basados en el análisis de las ecuaciones dinámicas o cinemáticas del sistema suelen ser complejos matemáticamente, en ocasiones irresolubles. Pero permiten obtener soluciones muy optimizadas, aunque su aplicación suele ser muy limitada y son sensibles a la precisión del modelo considerado

De esta manera concluimos con este capítulo, donde hemos tipificado y clasificado a los SANT para luego abordar en el siguiente apartado su uso en los conflictos actuales.

En tal sentido, y debido al empleo actual de esta tecnología analizamos los sistemas multi robot y enjambres aéreos reflexionando sobre las características claves de escalabilidad, flexibilidad y robustez. Y así desarrollar teóricamente y poco técnico el uso de algoritmos que solucionan los posibles métodos de empleo para en los próximos apartados aplicarlos en la Alerta Estratégica.



## **Capítulo 2 El uso de los Sistemas de Aeronaves No tripulados en los Conflictos Actuales**

La utilización de sistemas de aeronaves no tripuladas (SANT) comúnmente conocido como drones ha transformado la dinámica de los conflictos armados en el siglo XXI. Estos dispositivos que operan sin la necesidad de una tripulación a bordo ofrecen ventajas estratégicas significativas en términos de vigilancia, inteligencia y ataques precisos. Lo que los convierte en una herramienta clave en las operaciones militares contemporáneas. Su capacidad para realizar misiones de alto riesgo sin poner en peligro vidas humanas ha incrementado su adopción, tanto en guerras convencionales como conflictos de baja intensidad. Además, los drones permiten una intervención rápida y precisa limitando los daños colaterales y ofreciendo mayor eficiencia en la ejecución de ataques aéreos y en misiones de reconocimiento. Sin embargo, su uso plantea desafíos éticos y legales especialmente en lo que respecta a la soberanía de los países, derechos humanos y el riesgo de escalada de violencia.

Por lo tanto, podemos afirmar que los enfrentamientos de abril de 2016 entre Armenia y Azerbaiyán se convirtieron en el primer ejemplo de dos Estados nacionales utilizando, de manera intensiva SANT en operaciones militares. Hasta ese momento, tal como señala Botta (2018), se habían utilizado contra grupos terroristas e irregulares como el caso de Estados Unidos en Afganistán, Yemen, Pakistán o Irak.

### **2.1 Los enjambres de SANT en la actualidad**

Hoy en día países como Estados Unidos, China, Israel y Rusia y por supuesto Ucrania, trabajan en programas de enjambre de SANT. Aunque todos los países occidentales están avanzando en variados proyectos tecnológicos, no todos cuentan con los mismos recursos financieros para desarrollarlos o comprarlos, además de integrarlos a sus fuerzas armadas de una manera eficaz.

En consonancia, Estados Unidos realizó la Perdix Swarm Demonstration en China Lake donde tres aviones F-18 desplegaron 103 drones sobre un objetivo. La Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa (DARPA) también ha mostrado interés en la idea del enjambre de drones, impulsando el concepto

conocido como Gremlins, que involucra un enjambre de municiones merodeadoras según Mary (2024). Otro modelo ambicioso es el proyecto norteamericano AMASS (Autonomous Multi-Domain Adaptive Swarms of Swarms), cuyo objetivo es desplegar miles de drones aéreos, marítimos y terrestres en formaciones autónomas para superar defensas aéreas y destruir objetivos críticos. Este proyecto busca revolucionar el empleo de SANT en el Teatro de Operaciones utilizando SANT de bajo costo que puedan trabajar de forma coordinada para derrotar las defensas del enemigo, tal como señala Ruiz (2024). Con este ejemplo observamos la evolución de un empleo aislado y táctico de este sistema de armas a un empleo operacional.

Otra muestra de ello es el programa OFFSET, también norteamericano, que utilizó un enjambre de 250 SANT colaborativos en ejercicios militares urbanos. Por su parte, China ha invertido una brutal cifra de recursos económicos en desarrollar enjambres de SANT. Uno de los más impresionantes avances fue la demostración de resiliencia de los SANT frente a la pérdida de comunicación entre ellos ante ataques electrónicos (interferencia). Estos SANT pudieron continuar con el cumplimiento de la misión ayudados por la IA de forma autónoma con una considerable capacidad.

Israel, pionero en el desarrollo y aplicación de estos sistemas en combate, los utilizó en 2021 para obtener inteligencia sobre las posiciones de HAMAS<sup>3</sup> y luego realizar ataques precisos. Por otra parte, Australia ha colaborado con el desarrollo, a través de una alianza con Reino Unido y Estados Unidos, de un sistema que puede operar de forma autónoma o en coordinación con aviones tripulados. Este SANT se utiliza como un recurso desechable en misiones ofensivas que lo convierte en una pieza fundamental en los futuros enjambres.

Los enjambres de drones han llevado a los países occidentales a reconsiderar sus estrategias de defensa aérea. La guerra en Libia es un ejemplo reciente donde drones económicos turcos neutralizaron sistemas de defensa aérea rusos, lo que sugiere que los drones pueden actuar como una fuerza aérea instantánea y cambiar las dinámicas del campo de batalla tal como señala Mary (2024).

Para profundizar en el análisis del empleo de los Sistemas de Aeronaves No Tripulados (SANT) en conflictos recientes, presentamos un cuadro comparativo que detalla las características del uso de estos sistemas en tres escenarios distintos:

---

<sup>3</sup> HAMAS es el más grande de entre los diversos grupos islamistas palestinos y su nombre es un acrónimo árabe de Movimiento de Resistencia Islámica (Harakat al Muqawama al Islamiya).

Nagorno – Karabaj, Ucrania y el conflicto Israel – Hamás. Este cuadro sintetiza las capacidades empleadas, las aplicaciones tácticas, estratégicas y operativas, según el contexto geopolítico y las tecnologías disponibles.

| <b>Aspectos</b>                   | <b>Ucrania</b>                                                                                                                                                                         | <b>Gaza</b>                                                                                                                                                                   | <b>Nagorno – Karabaj</b>                                                                                                                             | <b>Análisis Comparativo</b>                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo de SANT usados</b>        | <p>Drones tácticos.</p> <p><b>Categoría I Subcategoría 4</b><br/>Bayraktar TB2</p> <p><b>Subcategoría 1 y 2</b><br/>DJI Mavic</p> <p><b>Subcategoría 1 y 2</b><br/>FPV modificados</p> | <p>Drones kamikaze.</p> <p><b>Categoría I Subcategoría 3</b><br/>Harop, KUB-BLA</p> <p>Tácticos para reconocimiento.</p> <p><b>Subcategoría 4</b><br/>Hermes 450, Skylark</p> | <p>Drones kamikaze</p> <p><b>Categoría I Subcategoría 3</b><br/>Harop</p> <p>Tácticos para observación.</p> <p><b>Subcategoría 2</b><br/>Orbiter</p> | <p>Similitudes: Uso de drones kamikaze y tácticos.</p> <p>Diferencias: En Ucrania, predominan los FPV modificados; en Gaza, drones tácticos avanzados; en Nagorno, énfasis en observación y ataques puntuales.</p> |
| <b>Modalidades de Uso</b>         | Reconocimiento, FPV con munición, y ataque directo                                                                                                                                     | Reconocimiento, ataques kamikaze, y uso en túneles subterráneos                                                                                                               | Reconocimiento y ataques kamikaze (sin munición adicional).                                                                                          | <p>Similitudes: Uso para ataque y reconocimiento.</p> <p>Diferencias: En Gaza, destaca el uso en túneles; en Nagorno, el énfasis está en la vigilancia y ataques estratégicos.</p>                                 |
| <b>Impacto en las Operaciones</b> | Alta capacidad disruptiva en la artillería enemiga y logística gracias a los FPV.                                                                                                      | Facilitan operaciones en entornos urbanos y subterráneos, con alta precisión                                                                                                  | Superioridad táctica sobre fuerzas terrestres tradicionales gracias a ataques dirigidos y vigilancia constante.                                      | <p>Similitudes: Impacto significativo en operaciones militares.</p> <p>Diferencias: En Ucrania y Gaza, mayor tecnología avanzada; en Nagorno, énfasis en operaciones costo-efectivas</p>                           |

|                                   |                                                                            |                                                                                            |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Resultados en el Conflicto</b> | Alta efectividad para desorganizar líneas de suministro y defensa enemiga. | Mayor control de zonas urbanas y defensas complejas, limitando la maniobrabilidad enemiga. | Cambio en el equilibrio de poder, favoreciendo a Azerbaiyán, debido al empleo estratégico de drones kamikaze y de vigilancia. | Los SANT han transformado las estrategias militares, adaptándose a las condiciones de cada conflicto, desde zonas abiertas hasta entornos urbanos o montañosos |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Tabla 4. Cuadro comparativo uso de los SANT (Elaboración propia)**

Cabe destacar que todo esto representa una innovación significativa en el ámbito militar, obligando a los estrategas a reconsiderar sus tácticas y defensas. La capacidad de despliegue masivo y la flexibilidad operativa de los enjambres de drones tienen el potencial de cambiar fundamentalmente la dinámica de cualquier conflicto futuro.

Ahora bien, para entender esta futura arma de nivel operacional y hasta en algunos casos estratégica, es necesario involucrarnos en entender cómo se viene desarrollando en estos países de vanguardia el sistema de comando y control. Muy importante para cuando en el próximo capítulo abordemos su utilización como alerta estratégica.

El comando y control de estos sistemas de enjambres es crucial para garantizar su operatividad y efectividad. Veamos las tendencias mundiales:

1. Comando y Control centralizado: Implica un operador humano o un sistema de control principal dirigen cada uno de los drones del enjambre (mando central). Si bien es efectivo en pequeños grupos, su principal desventaja es la sobrecarga de información y el riesgo de colapsar ante un fallo del sistema central.
2. Comando y Control distribuido: No hay un controlador central. Los drones se comunican entre sí, compartiendo datos de posición, velocidad y objetivos. Este tipo de control hace que sea más resistente porque si uno o varios fallan el resto puede continuar la misión.
3. Comando y Control jerárquico: Combina aspectos del control centralizado y distribuido. Estos se organizan en subgrupos, cada uno de los líderes de los subgrupos coordinan a los demás.

4. Enjambre autónomo basado en Inteligencia Artificial: Este es el más avanzado. Usan algoritmos de Inteligencia Artificial Generativa sin necesidad de intervención humana. Analizan su entorno, coordinan los movimientos, y ajustan sus tácticas en tiempo real.

Como cualquier sistema, cada uno tiene sus ventajas y desventajas. La elección del método de comando y control se debe adaptar al presupuesto vigente y a las misiones a cumplir. Más allá, de las capacidades tecnológicas de cada Nación.

Los expertos técnicos, aparte de sus aplicaciones militares, tienen preocupaciones éticas que, si bien no es tema de esta investigación, conviene mencionarlos. El riesgo es que a medida que aumenta el tamaño y peso del SANT su fiabilidad disminuye, a su vez, un enjambre de miles de ellos puede volverse impredecibles si alguno comete un error. Por ejemplo, si un SANT ataca por error un objetivo civil, otros del mismo enjambre podrían seguirlo, amplificando el daño. Estas dudas potencian la idea que pueden convertirse en armas de destrucción masiva.

Otra limitación, pero desde el punto de vista técnico es el desarrollo de las tecnologías de baterías, ya que estas determinan y limitan el tiempo de vuelo, el alcance y la capacidad de carga útil del SANT. Un dato más que interesante a la hora de adquirir un SANT económico para misiones militares como vigilancia y reconocimiento es tener en cuenta que actualmente los SANT que funcionan con baterías de iones de litio pueden volar aproximadamente entre 20 a 30 minutos dependiendo de la carga que transporten. Lo que a simple razonamiento lo hace inadecuado para misiones de medio/largo alcance. En consecuencia, es mejor pensar en SANT con motores a reacción cuando se necesita una mayor autonomía de vuelo.

## **2.2 Las empresas de drones**

Para continuar con el análisis es importante conocer las empresas de fabricación de drones a nivel mundial dado que, si bien es importante el desarrollo nacional, hay una gran multiplicidad de empresas de capitales privados que desde hace años los fabrican de manera exitosa y muchos de ellos además de ser una

herramienta fundamental para el entrenamiento y pruebas militares, han sido probados exitosamente en combate.

A la hora de hablar de SANT diseñados para entrenamiento y pruebas militares, estos simulan aviones enemigos, misiles u otras amenazas para proporcionar escenarios realistas. Los mismos están equipados con tecnologías avanzadas como navegación GPS y control remoto, ayudan a entrenar pilotos, tripulaciones terrestres y fuerzas navales, así como a probar y evaluar sistemas de armas y mecanismos de defensa. Fabricantes líderes como Kratos Defense, Northrop Grumman y Boeing desarrollan estos drones versátiles y rentables, mejorando la preparación y efectividad operativa del personal militar en todo el mundo.

Cabe mencionar que actualmente hay un gran uso de estos dispositivos en industrias como la construcción, el correo y la agricultura. La integración de Tecnología de IA en drones impulsa aún más la expansión del mercado al mejorar las funciones autónomas.

Podemos afirmar que las fuerzas militares con pocos recursos económicos al menos, deben incorporar cientos de estos SANT de uso comercial para capacitar a sus tropas y generar doctrina. De esta manera, y hasta que los recursos económicos lleguen, mantienen cierto grado de adiestramiento acorde a los conflictos armados actuales.

Al nombrar a las empresas más importantes de fabricación de drones para la defensa según los foros especializados es importante destacar a las siguientes:

- ✓ **BOEING:** es una empresa aeroespacial líder y el mayor fabricante de aviones comerciales y aviones militares. Recientemente, Boeing ha estado involucrado en el avance de los sistemas autónomos y la mejora de las capacidades digitales. En el mercado de SANT, Boeing proporciona vehículos aéreos no tripulados avanzados como el MQ-25 Stingray, enfatizando la tecnología de vanguardia, la confiabilidad y la versatilidad de la misión.
- ✓ **RTX Corporation:** es un importante conglomerado aeroespacial y de defensa estadounidense formado en 2020. Se especializa en proporcionar sistemas y servicios avanzados para clientes comerciales, militares y gubernamentales. Los productos clave incluyen sistemas de defensa antimisiles, aviónica, ciberseguridad y SANT, siendo los ejemplos notables

el BQM-177A y el MQM-178 Firejet. RTX es conocida por sus innovaciones tecnológicas, sólidas capacidades de Identificación Remota<sup>4</sup> (I+D) y contribuciones significativas a la seguridad nacional. Los desarrollos recientes incluyen un enfoque en tecnologías sostenibles e iniciativas de transformación digital.

- ✓ Lockheed Martin Corporation: es reconocida por sus sistemas de tecnología avanzada, incluidos aviones de combate (F-35 Lightning II), sistemas de defensa antimisiles (THAAD) y esfuerzos de exploración espacial (nave espacial Orion). Los logros notables incluyen tecnología sigilosa pionera y contribuciones significativas a las misiones a Marte. En el mercado de SANT, Lockheed Martin ofrece soluciones sofisticadas como el UTAP-22 Mako, que proporciona simulación de amenazas de alta fidelidad para el entrenamiento militar. Los desarrollos recientes incluyen avances en armamento hipersónico y sistemas autónomos, lo que refuerza su posición como líder en innovación de defensa.
- ✓ Northrop Grumman: conocido por su innovación en sistemas aeroespaciales, electrónica de defensa y ciberseguridad, los productos clave de Northrop Grumman incluyen sistemas de aeronaves no tripuladas, soluciones cibernéticas, C4ISR<sup>5</sup> y sistemas de defensa antimisiles. En particular, la compañía ha logrado hitos importantes como el desarrollo del bombardero furtivo B-2 Spirit y el Telescopio Espacial James Webb. Recientemente, Northrop Grumman se ha centrado en los avances en sistemas autónomos y exploración espacial. En el mercado de SANT, incluyen tecnología de vanguardia en simulación de amenazas de alta fidelidad y capacidades inigualables para crear entornos de entrenamiento realistas para las fuerzas militares.
- ✓ Textron Systems: es una empresa líder en el sector aeroespacial y de defensa fundada en 1955. La compañía se especializa en soluciones de tecnología avanzada, incluidos sistemas no tripulados, sistemas marinos y terrestres, y

---

<sup>4</sup> La identificación remota es la capacidad de un SANT de transmitir información de identificación, como su identidad, la ubicación del dron, la ubicación del piloto, la ubicación de despegue y los detalles del vuelo.

<sup>5</sup> C4ISR son las siglas en inglés de Command, Control, Communications, Computers (C4), Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR). Se trata de un conjunto de sistemas que permiten a las fuerzas armadas maximizar su conocimiento de la situación, reduciendo el tiempo entre la detección y la respuesta

sistemas de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR). Los productos clave incluyen los SANT Aerosonde y Shadow, así como el CUSV (Vehículo de Superficie Común No Tripulado) de la Marina de los Estados Unidos. En el mercado, Textron Systems ofrece SANT avanzados como Banshee y MQM-170 Outlaw, diseñados para entrenamiento militar y pruebas de armas. Los logros notables incluyen el apoyo a importantes programas de defensa e innovaciones en tecnologías no tripuladas. Los desarrollos recientes se centran en mejorar las capacidades autónomas y expandir el alcance global.

- ✓ Airbus: se especializa en el diseño, fabricación y entrega de productos aeroespaciales, incluidos aviones comerciales, helicópteros, sistemas de defensa y tecnologías relacionadas con el espacio. Recientemente, Airbus se ha centrado en la aviación sostenible, explorando aviones propulsados por hidrógeno y soluciones avanzadas de movilidad aérea urbana. En el mercado de SANT, Airbus destaca por sus drones confiables y de alto rendimiento diseñados para aplicaciones de entrenamiento militar y defensa, que ofrecen características innovadoras e ingeniería robusta.
- ✓ Aero Targets International, LLC: se especializa sólo en SANT para aplicaciones militares y de defensa. Sus productos clave incluyen objetivos aéreos de alto rendimiento diseñados para simular diversas amenazas, mejorando la preparación militar y las pruebas de sistemas de armas. Aero Targets ha logrado un éxito notable en la entrega de soluciones confiables y rentables que cumplen con los estrictos requisitos militares.
- ✓ Leonardo S. p. A.: se especializa en sistemas de tecnología avanzada para los sectores aeroespacial, de defensa y seguridad. Leonardo produce una gama de productos que incluyen helicópteros, aviones, electrónica y sistemas de defensa. En el mercado de SANT, Leonardo es famoso por sus drones MALE (Resistencia Larga a Altitud Media) y HALE (Resistencia Larga a Gran Altitud) utilizados para entrenamiento militar, prácticas de tiro y misiones de reconocimiento. Los desarrollos recientes incluyen avances en capacidades autónomas e integración de sensores, lo que refuerza su posición como líder en el sector de drones de defensa.
- ✓ Soluciones de Defensa y Seguridad de Kratos, Inc.: se ha establecido como líder en el desarrollo y fabricación de SANT de alto rendimiento. Sus



productos se adaptan a una amplia gama de aplicaciones militares, incluida la simulación de objetivos, la representación de amenazas y los ejercicios de entrenamiento. Los logros notables incluyen contratos con el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para sistemas de objetivos y tecnologías de guerra electrónica. Los desarrollos recientes incluyen la expansión de su cartera de drones para satisfacer las cambiantes necesidades de entrenamiento militar, enfatizando el realismo y el rendimiento de alta fidelidad para garantizar la preparación operativa y la efectividad en escenarios de entrenamiento complejos.

- ✓ QinetiQ: establecida a partir de la Agencia de Investigación y Evaluación de Defensa (DERA) del gobierno del Reino Unido en 2001, QinetiQ se ha convertido desde entonces en un líder en tecnología de defensa y seguridad. Sus productos clave incluyen los drones Banshee, Jet Banshee y Mosquito target, cruciales para los ejercicios de entrenamiento militar en todo el mundo. Los logros notables incluyen innovaciones pioneras en características de autonomía y supervivencia para sus drones, mejorando el realismo y la efectividad en escenarios de entrenamiento. QinetiQ continúa avanzando en el mercado de SANT, integrando tecnologías de vanguardia como inteligencia artificial y sistemas de sensores para mantener su posición a la vanguardia de las soluciones de simulación y entrenamiento militar.

Otros autores como Guler (2022) nos dicen que el mercado global (civil) se encuentra liderado por las siguientes empresas: DJI (China), Parrot Drones SAS (Francia), YUNEEC (China), 3D Robotics (Estados Unidos) y EHANG (China). Y que la producción se encuentra concentrada en China, Israel y Estados Unidos. Sin embargo, cada país tiene un enfoque diferente dentro del mercado. Por un lado, China ha dominado el mercado de consumo y las soluciones de hardware con DJI, que representó el 36% de las ventas de drones de consumo en América del Norte en 2021. Por otro lado, las empresas estadounidenses se centran en desarrollar soluciones de hardware comerciales específicas o software de punta a punta, para aplicaciones comerciales. Este tipo de tecnología involucra a un proveedor de software, que además de ofrecer la tecnología, está presente en todo el proceso que atraviesa el producto hasta llegar a manos del cliente. También se las conoce como

modelos “de principio a fin”. Un ejemplo icónico de soluciones punta a punta es Intel, que ofrece una gama de productos para cada uno segmentos de consumidor y tipos de dispositivos. Esta empresa interactúa con consumidores a través de distintos procesos de manera directa, desde teléfonos móviles y asistentes personales hasta grandes servidores y centros de datos.

Como demostramos anteriormente, los SANT son un negocio rentable en todas partes del mundo tanto en la industria de la defensa como por ejemplo para la agricultura y la minería entre otras actividades económicas. Es así que las empresas tecnológicas de todo el mundo están interesadas en este tipo de dispositivos. Esto nos lleva a preguntarnos, ¿es necesario apostar a un desarrollo propio de cada Fuerza Armada con todo lo que ello implica? o es más conveniente para países como Argentina, ¿comenzar a nutrirse de SANT económicos, de fácil reposición y baratos, disponible en el mercado local u internacional?

### **2.3 Contramedidas electrónicas y vulnerabilidades**

La naturaleza coordinada de los SANT también los hace vulnerables a interferencias y ataques cibernéticos. Dado que dentro del enjambre dependen de la comunicación entre sí, un adversario podría intentar bloquear o manipular esas comunicaciones. Esto podría ser que los enjambres actúen de manera errática, atacando objetivos erróneos o incluso dañando a sus propias fuerzas.

Otra gran vulnerabilidad es la logística. Para mantener un enjambre operativo, los ejércitos necesitan la capacidad de reabastecer y mantener grandes cantidades de SANT en el Teatro de Operaciones. A modo de ejemplo, en el conflicto Rusia y Ucrania, se estima que Ucrania perdió hasta 10.000 drones por mes. A menos que un país tengan la capacidad de producir y reemplazar SANT rápidamente, su efectividad se verá limitada en guerras prolongadas.

Es importante reflexionar también, que el desarrollo de estas tecnologías en manos de países no confiables o grupos armados no estatales pueden causar daños irreparables a la sociedad en su conjunto. Aunque no es tema de esta investigación es importante comenzar a pensar en medidas para controlar su proliferación. Tal como dice Ruiz (2024) los controles de exportación y las normas internacionales podrían ayudar a reducir el número de Estados que puedan adquirir esta tecnología. Porque los enjambres de SANT requieren software avanzados los que podría

transferirse por redes difíciles de rastrear (web profunda<sup>6</sup>, por ejemplo). A medida que avanza la tecnología, es más fácil que su proliferación sea exponencial.

Podemos afirmar que los enjambres de SANT están revolucionando la guerra más que nada por las ventajas que ofrecen, pero esas ventajas vienen acompañadas de riesgos muy serios que no se pueden ignorar. La falta de fiabilidad y la ética podrían provocar que algunos Estados no desarrollen estos sistemas o limiten su uso a misiones de reconocimiento o inteligencia. En vez de utilizarlos como armas letales de precisión.

Podemos concluir que, aunque algunos países se apresuran a su desarrollo como Ucrania e Israel por su situación geopolítica y los conflictos armados que enfrentan. En general, el adelanto de estos sistemas es lento y progresivo tal como señala Ruiz (2024). Pero al mismo tiempo, el camino del desarrollo de SANT y anti SANT está abierto para cualquier empresa privada que tome la delantera con alguna innovación tecnológica. Un ejemplo de ello es el nuevo sistema Pulsar<sup>7</sup> de la empresa californiana Anduril Industries.

Anduril, es una empresa relativamente nueva que ya le ha ganado importantes contratos a los tradicionales gigantes de la defensa como Boeing, Lockheed Martin y Northrop Grumman. Los desarrolladores de Pulsar aseguran que su sistema puede inhabilitar drones, proporcionar servicios de geolocalización y facilitar las comunicaciones. Sam El-Akkad, director general de sistemas de Anduril, explica que la inteligencia artificial entra en acción cuando la tecnología identifica nuevas amenazas en el espectro electromagnético. Luego crea una estrategia de defensa adaptada al ataque en cuestión de horas o días y la envía a toda la red de aparatos del sistema Pulsar (anti-enjambre). Esto, asegura y reduce drásticamente el tiempo de respuesta.

Todos estos avances occidentales son significativos, aunque el medio especializado Breaking Defense apunta que oficiales de los Estados Unidos han advertido que contrarrestar las amenazas de la guerra electrónica es una prioridad máxima en la guerra moderna y que adversarios como Rusia o China van por delante en este campo.

---

<sup>6</sup> La web profunda, también conocida como Deep Web o Web invisible, es la parte de internet que no pueden rastrear los motores de búsqueda convencionales. Ambiente propicio para todo tipo de actividades delictivas e ilícitas.

<sup>7</sup> Pulsar es una familia de inhibidores basados en inteligencia artificial que trabaja de manera coordinada y, según afirman, puede hacer frente a las peores amenazas de guerra electrónica.

### **Capítulo 3 El empleo efectivo como Alerta Estratégica**

El uso efectivo de los SANT como alerta estratégica, es un tema relevante en la actualidad ya que han revolucionado la forma en que se obtiene, recopila y analiza la información en diversas áreas desde la seguridad nacional hasta la agricultura. Su capacidad para operar en sectores de difícil acceso, sus tecnologías avanzadas de sensores les permiten proporcionar datos en tiempo real. Cuestión fundamental para la toma de decisiones estratégicas.

Al analizar el empleo efectivo de SANT, cuando se planifican operaciones militares en ambientes hostiles, citaremos a Chamayou (2016), quien refiere que se prevén dos posibilidades, situar a una máquina o enviar a un hombre protegido. Aunque existe actualmente una tercera posición, utilizar un vehículo operativo -no tripulado- en un ambiente hostil con control a distancia de un hombre en un ambiente seguro.

En todos estos casos siempre la zona hostil queda como un espacio desamparado que las fuerzas militares tratan de controlar frente a fuentes de amenazas potenciales. Entendemos que no se trata de explotar estas zonas como fuente de recursos, dado que no se quiere ocupar. Sino que las acciones que son propicias se relacionan con patrullarlas, vigilarlas e intervenirlas por cortos períodos de tiempo si fuere necesario, pero de ninguna manera se iría allí con fuerza militares convencionales.

En resumen, la utilización apta de los SANT como alerta estratégica representan una herramienta poderosa, que, si se cumple adecuadamente, puede contribuir significativamente al progreso y la seguridad en todo el territorio de un Estado.

#### **3.1 Herramienta de Alerta Estratégica**

Para comenzar a analizar el uso de SANT como herramienta de Alerta Estratégica y relacionarlo con todo lo desarrollado en los capítulos anteriores, es necesario definir conceptos claves para entender la temática desde el punto de vista de la doctrina militar conjunta vigente en Argentina. Es así que primeramente definiremos ¿Qué es la alerta? Para luego diferenciar los términos de alarma y alerta estratégica.

Según el Glosario de Términos de empleo militar para la Acción Militar Conjunta (2015) el concepto de alerta puede ser abordado desde cuatro acepciones:

1. Prevención para la acción, defensa o protección.
2. Período durante el cual las fuerzas se mantienen listas para responder a una alarma.
3. Estado de mayor alistamiento del Instrumento Militar, que podrá tener distintos niveles según corresponda.
4. Para la aviación implica la disposición de las aeronaves en condiciones de empleo inmediato y listas para despegar en tiempo predeterminado, según corresponda, (el mínimo es tres minutos) de llegada la orden, encontrándose sobre la pista en uso, con sus tripulaciones a bordo y los mecánicos próximos a ellos.

Para nuestra investigación tomamos la primera acepción, entendemos la alerta como prevención para la acción, defensa o protección. A su vez, el mismo reglamento conjunto diferencia los términos de alerta y alarma estratégica de la siguiente manera:

- ✓ Alerta estratégica: Situación o actitud que permite adoptar medidas que podrían originar previsiones o la activación de determinados sensores para obtenerla en relación a la prevención de un conflicto o para el manejo de una crisis. Su enfoque dará origen a la Alarma Estratégica.
- ✓ Alarma estratégica: Situación o actitud resultante de la alerta estratégica que opera en el plazo inmediato. Implica la detección y aviso anticipado de los preparativos que realicen los posibles adversarios para atacar, agredir o afectar al propio Estado – Nación en cualquiera de sus campos de acción o escenarios en los que intervenga.

Gracias a estas definiciones destacamos la importancia que pueden tener los SANT como un sensor más en relación a la prevención de un conflicto. Si bien entendemos que los radares de alerta temprana son una herramienta fundamental y precisa para detectar aeronaves no identificadas en el espacio aéreo, los radares de vigilancia terrestre no son muy efectivos o se necesitan muchos de ellos para cubrir grandes extensiones. A su vez, la vigilancia con tropas desplegadas en posibles áreas de responsabilidad o Teatros de Operaciones es limitada a la cantidad de

efectivos disponibles y poco adecuado por el esfuerzo logístico que esto demanda a la hora del sostenimiento.

Vemos a los SANT como un artilugio fundamental para cubrir grandes espacios donde no haya obstáculos naturales predominantes como ser ríos o zonas boscosas. Entendemos también que todo contribuye a la alerta, desde tropas desplegadas en lugares estratégicos como puentes o cruces de caminos, radares y SANT. Lo importante es que todas estas herramientas funcionen de manera coordinada y bajo un comando y control único. Un ejemplo de ello sería, una red de enjambre de drones operativos en la frontera seca<sup>8</sup> que limita la provincia de Formosa con la República de Paraguay, donde la posibilidad de una amenaza podría ser evidentemente terrestre. Estos enjambres serían ideales y podrían contribuir de manera efectiva con la vigilancia y así ser el mejor sistema de alerta. Luego quedará en definir por estudios específicos que tipo de SANT sería más conveniente de acuerdo al presupuesto disponible como así también el algoritmo a utilizar para su funcionamiento (optimización de trayectorias, feromonas virtuales, red de comportamiento tal como lo desarrollamos en el cap. 1).

Para reforzar esta idea es necesario analizar la Capa Anticipar de la Concepción Estratégica de Capas<sup>9</sup> y Restricción de Área para así darle el lugar privilegiado que deberían tener los SANT a la hora de su adquisición, entrenamiento de personal y actualización de procedimientos. Ya que la alerta es una cuestión muy importante según la doctrina conjunta actual.

Vemos así, que la Restricción de Área, desde la perspectiva de la Capa Anticipar, necesitará de una oportuna alerta como requisito para poder plantear la misma con profundidad estratégica, buscando que se le dificulte al agresor la ocupación de bases de despliegue adelantadas, obligándolo por ende a que deba operar desde una distancia mayor a lo planeado.

A su vez, vemos que parte de los esfuerzos estratégicos activos y reactivos de la concepción estratégica militar (que normalmente posee carácter permanente y que busca obtener y mantener en forma constante vigilancia y control de los espacios) son contribuyentes al proceso estratégico de “Alerta - Alarma – Apresto

---

<sup>8</sup> El límite entre Formosa y la República del Paraguay tiene una extensión aproximada de 800 kilómetros: 600 al norte sobre el río Pilcomayo y que se estima, actualmente, corresponde un 50% a frontera seca en la zona centro-oeste de la Provincia, y 200 al este, sobre el río Paraguay.

<sup>9</sup> Cada una de las partes que conforman los esfuerzos estratégicos activos y/o reactivos de la estratégica militar que buscan anticipar, prevenir, conjurar o repeler al agresor.

y Despliegue”. Durante la crisis y guerra será una prolongación de las “Operaciones Permanentes” que se desarrollan en tiempos de paz como parte de dicho Esfuerzo Estratégico Activo. Aquí los SANT cobran protagonismo ya que en tiempo de paz su operación puede ser de vital importancia con un efectivo despliegue territorial.

Las operaciones destinadas a la vigilancia y control de los espacios físicos y no físicos que se realicen como parte de la capa Anticipar, serán de naturaleza multidominio<sup>10</sup>. Para lograr tales cometidos, el sistema de vigilancia y control buscará obtener y brindar profundidad estratégica permitiendo el desarrollo anticipado de las acciones o modos de acción a emplear cuando se manifieste la siguiente capa. Aquí los SANT operarían en el dominio aéreo y cibernético para contribuir al dominio terrestre.

A lo largo de este apartado vimos la necesidad imperiosa de incorporar esta tecnología de SANT que es esencial para lograr los objetivos de la Capa Anticipar.

### **3.2 Medio contribuyente a la función conjunta de protección**

El reglamento de Planeamiento para la Acción Militar Conjunta Nivel Operacional (2023) identifica a las funciones conjuntas que nombraremos a continuación:

- ✓ Comando y Control
- ✓ Inteligencia
- ✓ Fuegos
- ✓ Movimiento
- ✓ Maniobra
- ✓ Protección
- ✓ Sostenimiento
- ✓ Información

Gracias al análisis que realizamos, entendemos que, como complemento de lo tratado en el apartado anterior, los SANT contribuyen también a la función

---

<sup>10</sup> Las operaciones multidominio son un paradigma táctico-operacional que consiste en influir de forma sincronizada en todas las dimensiones del campo de batalla. Este concepto se ha vuelto relevante en los últimos años debido a la transformación de los conflictos bélicos. Se considera que los dominios de guerra son cinco: tierra, mar, aire, espacio y ciberespacio

conjunta de protección. Por cuanto el SANT amplía la visión, se obtiene información en tiempo real y la provee a quien la requiera en las áreas de responsabilidad y en el TO. Las tropas terrestres convencionales al estar sobre el suelo se pierden todo un campo de visión y el SANT facilita obtener esas imágenes aéreas tan necesarias para la protección de una forma más económica que la utilización de aviones tripulados. Tal como hemos analizado, las nuevas generaciones de SANT ofrecen una mayor durabilidad, estabilidad a los cambios de viento cuando se encuentran en vuelo y la instalación de diferentes cámaras para cada tipo de uso.

Por el lado de la robótica, los principales avances que se visualizan son robots autónomos de patrullaje, equipados con sensores avanzados y cámaras de alta definición. Estos SANT pueden cubrir grandes áreas y proporcionar informes instantáneos de cualquier incidente. Al enviar SANT como primera respuesta, se reducen las situaciones de riesgo para las tropas, ofreciendo una capa adicional de protección para el personal desplegado. Destacamos que el entrenamiento con IA para la detección de amenazas con programación abierta permite “enseñarle” a los SANT a identificar amenazas emergentes y adaptar sus respuestas ante situaciones específicas. Además, con la incorporación de cámaras tanto térmicas como visuales, el operador desde el área de vigilancia puede tener un mayor control y registro de la situación a distancia y accionar de manera apropiada. De esta manera, las tropas pueden ampliar su rango de protección y por ejemplo los SANT o los robots perros -como los bípedos- permiten eso. Si se desarrolla un adiestramiento adecuado del personal de pilotos y operadores de estos sistemas, pueden programarse según la necesidad del usuario, acompañando los procesos, adaptándolo y usándolo como uno requiera. Desde una patrulla de perímetros o a un sistema de búsqueda en situaciones de emergencia, este uso incluiría la distribución a todas las tropas sin importar la fuerza ni el arma, puesto que, desde las unidades logísticas, unidades de comunicaciones y las tropas en primera línea necesitan protección. Los desarrollos en este campo de la protección están llevando la seguridad a un nuevo nivel donde la vigilancia es más proactiva y la protección de datos es más rigurosa además de ser una herramienta transversal a todos. Estos avances son cruciales para abordar los desafíos de una protección de las tropas en el TO cada vez más interconectada y vulnerable a amenazas.



A su vez, tal como señala Britos (2024), una aplicación utilizada en el conflicto actual de Rusia- Ucrania, con un alcance de hasta 250 km, los SANT pueden identificar rápidamente los objetivos y comunicar esa información a las unidades de artillería más cercanas. Este cambio en la dinámica del campo de batalla permite que las fuerzas armadas optimicen el uso de municiones, mejoren su precisión y reduzcan costos. En este sentido, los drones no solo ofrecen un medio más económico de neutralizar objetivos, sino que también agilizan las operaciones gracias a su escalabilidad y capacidad de adaptarse a distintos entornos de combate.

## Conclusiones

El objetivo de este Trabajo Final de Investigación fue analizar el impacto y la eficiencia de la integración de los SANT como herramienta de alerta estratégica en el área de responsabilidad del Teatro de Operaciones, para fortalecer las capacidades de la función conjunta de protección. Este análisis nos permitió responder al problema inicial y establecer la relevancia de los SANT en el contexto bélico contemporáneo, basándonos en datos objetivos y hallazgos abordados en el desarrollo.

En primer lugar, se identificaron las principales características técnicas y operativas de los SANT. Su capacidad para poder operar en la tercera dimensión, superar las limitaciones del terreno y proporcionar vigilancia en tiempo real lo posiciona como una herramienta estratégica clave. Estas capacidades combinadas con su bajo costo y versatilidad no solo optimizan la recopilación de información estratégica sino que también lo hacen especialmente útiles en operaciones de vigilancia, alerta, ataque y protección.

En segundo lugar, los conflictos actuales, como el de Rusia – Ucrania, Nagorno – Karabaj y Gaza nos permitió observar como los SAT han transformado las tácticas militares demostrando su efectividad en operaciones de reconocimiento, ataque y vigilancia, su impacto en la capacidad de anticipación y reacción frente amenazas, desorganizar las defensas y líneas de abastecimiento logísticos.

Por otro lado, vemos que los sistemas compuestos por más de un SANT (enjambres) ofrecen ventajas claras frente a los sistemas mono SANT al permitir la subdivisión de tareas en distintos trabajos más sencillos y su ejecución de manera escalable, flexibles y robusta. Las tendencias mundiales para conducirlos e impartirles ordenes son el Comando y Control centralizado, distribuido, jerárquico y enjambre autónomo basado en IA tal como desarrollamos en el Cap. 1.

Sin embargo, también se identificaron limitaciones técnicas como en el desarrollo de las tecnologías de baterías que utilizan estos sistemas. Ya que estas determinan y limitan el tiempo de vuelo, el alcance y la capacidad de la carga útil del SANT. Un dato más que interesante a la hora de adquirir un SANT es tener en cuenta que actualmente los que funcionan con baterías de iones de litio pueden volar aproximadamente entre 20 a 30 minutos dependiendo siempre de la carga que

transporten. A simple razonamiento este tiempo de operación lo hace inadecuado para misiones de medio/largo alcance.

Por otro lado, la naturaleza coordinada de los SANT también los hace vulnerables a interferencias y ataques cibernéticos. Dado que dentro del enjambre dependen de la comunicación entre sí, un adversario podría intentar bloquear o manipular esas comunicaciones. Esto podría ser que los enjambres actúen de manera errática, atacando objetivos erróneos o incluso dañando a sus propias fuerzas.

Desde una perspectiva doctrinal, los SANT destacan por su capacidad de complementar herramientas tradicionales como radares de alerta temprana y tropas desplegadas, en escenarios donde el terreno y la logística se ven limitadas por la cantidad de efectivos disponibles y el esfuerzo logístico que esto demanda a la hora del sostenimiento. Vemos así a los SANT como una herramienta fundamental para cubrir grandes espacios.

Para reforzar esta idea es necesario analizar la Capa Anticipar de la Concepción Estratégica de Capas y Restricción de Área para así darle el lugar privilegiado que deberían tener los SANT a la hora de su adquisición, entrenamiento de personal y actualización de procedimientos. Ya que la alerta es una cuestión muy importante según la doctrina conjunta actual.

Vemos así, que la Restricción de Área, desde la perspectiva de la Capa Anticipar, necesitará de una oportuna alerta como requisito para poder plantear la misma con profundidad estratégica, buscando que se le dificulte al agresor la ocupación de bases de despliegue adelantadas, obligándolo por ende a que deba operar desde una distancia mayor a lo planeado.

Los SANT contribuyen también a la función conjunta de protección. Ya que el SANT amplía la visión, proporciona información en tiempo real y adaptarse a diversas misiones refuerzan su papel como herramienta de alerta estratégica y defensa. Las tropas terrestres convencionales al estar sobre el suelo se pierden todo un campo de visualización y el SANT facilita obtener esas imágenes aéreas tan necesarias para la protección. Su capacidad de operar como sensores avanzados de alerta estratégica y su flexibilidad para adaptarse a distintos escenarios los convierten en una herramienta clave para la función conjunta de protección. Sin embargo, su implementación requiere un enfoque integral que contemple la

capacitación técnica, la actualización doctrinaria y la adaptación tecnológica para maximizar su potencial.

Finalmente concluimos que es de suma importancia dotar con una gran cantidad y variedad de SANT (desde económicos hasta sofisticados) a todas las unidades desplegadas en el Área de Responsabilidad o Teatro de Operaciones. Ello tendrá un impacto positivo y gran eficiencia en cuanto a la alerta estratégica como a la función conjunta de protección.

## **Bibliografía**

- Aleo, J. D. (2021). La integración de tecnologías en vehículos aéreos no tripulados y su impacto en el ejercicio del Comando y Control del Atlántico Sur (Trabajo Integrador Final). Escuela de Guerra Naval, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- ANAC (2019). Reglamento de Vehículos Aéreos no tripulados (VANT) y de Sistemas de Vehículos Aéreos no tripulados (SVANT). IF-2019-108617135-APN-DGLTYA#ANAC. Argentina.
- Botta, P. (2018). El uso de drones en el conflicto entre Armenia y Azerbaiyán. Buenos Aires: RESGA. Revista de la Escuela Superior de Guerra Aérea (242) [online], pp. 18-25
- Britos, J. (2024) Conferencia sobre el rol estratégico de los drones en los conflictos modernos desde la UNDEF y CARI. Argentina.
- Campanelli, H. (2014). La utilización conjunta de los Sistemas Aéreos no Tripulados en el Teatro de Operaciones (Trabajo Final Integrador). Escuela de Guerra Conjunta. Buenos Aires.
- Chamayou, G. (2016) Teoría del dron. Nuevos paradigmas de los conflictos del siglo XXI. Nuevos emprendimientos editoriales. Barcelona.
- Destro, L., Dei, H., & Vergara, E. (2014). Los escritos académicos en la formación militar: guía didáctica para su elaboración y redacción (pp. <http://190.12.101.91/bitstream/123456789/70/1/ESCRITOS%20ACADEMICOS%20%20DESTRO.pdf>). Escuela Superior de Guerra Conjunta. Buenos Aires.
- Emergen Reserch (2024). Mercado objetivo de drones. ER\_002919. Recuperado el 16 de noviembre de 2024, de <https://www.emergenresearch.com/es/blog/top-10-empresas-en-el-mercado-objetivo-de-drones>

- Estado Mayor Conjunto de las Fuerzas Armadas. (2015). PC 00-02 Glosario de términos de empleo militar para la Acción Militar Conjunta (Proyecto). Buenos Aires.
- Estado Mayor Conjunto de las Fuerzas Armadas (2022) Sistemas de Aeronaves No Tripulados Militares, Circular de Aeronavegabilidad Militar – fecha 5 mayo 2022 (CAM 4 - 1).
- Estado Mayor Conjunto de las Fuerzas Armadas (2023). Conceptos generales sobre la concepción estratégica de Capas, Restricción de Áreas y de Operaciones Multidominio. Boletín informativo Conjunto. Buenos Aires.
- Estado Mayor Conjunto de las Fuerzas Armadas. (2023). PC 00-01 Doctrina Básica para la Acción Militar Conjunta (Proyecto). Buenos Aires.
- Estado Mayor Conjunto de las Fuerzas Armadas. (2023). PC 20-01 Planeamiento para la Acción Militar Conjunta Nivel Operacional. (Proyecto). Buenos Aires.
- García-Aunon, P.; Roldán, J.; De León, J.; Del Cerro, J.; Barrientos, A. (2021). Aplicaciones prácticas de los sistemas multi-UAV y enjambres aéreos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*. 18(3):230-241. <https://doi.org/10.4995/riai.2020.13560>
- Guler, T. (2022) La industria de los drones en Argentina. Oportunidades para su desarrollo. Documento Nro. 33. Argentina Productiva 2030. Ministerio de Desarrollo Productivo. Argentina.
- Haluani, Makram. (2014). La tecnología aviónica militar en los conflictos asimétricos: problemáticas implicaciones del uso de los drones letales. *Cuadernos del Cendes*, 31(85), 23-67. Recuperado el 11 de noviembre de 2024, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S101225082014000100003&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S101225082014000100003&lng=es&tlng=es). Recuperado el 11 de noviembre de 2024.
- Kardoudi, O. (2024) Una nueva tecnología puede terminar con la guerra de drones de un plumazo. *El confidencial*. Recuperado el 16 de noviembre de 2024,

de [https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2024-05-07/nuevo-tecnologia-guerra-militar-drones-defensa-interferencia\\_3879324/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2024-05-07/nuevo-tecnologia-guerra-militar-drones-defensa-interferencia_3879324/)

Mary, I. (2024) El impacto de los drones en la guerra. Pucará defensa. Recuperado el 16 de noviembre de 2024, de <https://www.pucara.org/post/el-impacto-de-los-drones-en-la-guerra-moderna>

Mazza, M. (2024). Tecnología UAV (Aeronaves No Tripuladas) para aplicarse en la defensa, vigilancia, y control de los espacios marítimos (Tesis de Maestría). Escuela de Guerra Naval, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Raimondo, J. (2013). Empleo de vehículos aéreos no tripulados en el nivel operacional del conflicto (Trabajo Final Integrador). Escuela de Guerra Conjunta. Buenos Aires.

Ruiz, Oscar (2024). Enjambres de drones militares: entre su desarrollo o evitar su proliferación. Recuperado el 14 de noviembre de 2024, [https://www-escudodigitalcom.cdn.ampproject.org/c/s/www.escudodigital.com/defensa/enjambres-drones-militares-entre-su-desarrollo-evitar-su-proliferacion\\_61163\\_102\\_amp.html](https://www-escudodigitalcom.cdn.ampproject.org/c/s/www.escudodigital.com/defensa/enjambres-drones-militares-entre-su-desarrollo-evitar-su-proliferacion_61163_102_amp.html)